

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

12+



IZVESTIYA VUZOV  
Investitsii  
Stroitelstvo  
Nedvizhimost

**ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ**  
ИНВЕСТИЦИИ  
СТРОИТЕЛЬСТВО  
НЕДВИЖИМОСТЬ

Том 15 № 4  
**2025**



## 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<sup>2</sup> 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 ИрНТУ. 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 № 4  
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 Министерства науки и высшего образования РФ (Категория К-2), в Единый государственный перечень научных изданий «Белый список» (Уровень 2).

Журнал включен в международный каталог периодических изданий «UlrichsPeriodicals Directory», в базу данных EBSCO, в Научную электронную библиотеку (eLIBRARY.RU), представлен в электронной библиотеке «Cyberleninka», библиотеке Oxford, Directory of Open Access Journals (DOAJ), рассылается в Российскую книжную палату, ВИНТИ РАН.

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](mailto:izv_isn@istu.edu)

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

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

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

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

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

The journal is included in the list of the leading scientific journals and publications, where the key scientific results of doctoral (candidate's) theses approved by the State Commission for Academic Degrees and Titles of the Russian Ministry of Education are to be published, is included to the Unified State List of Scientific publications - the "White List" (Level 2).

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](mailto:izv_isn@istu.edu)

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

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

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

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

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

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

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

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

**Васильев Ю.Э.**, доктор технических наук, профессор, 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)

**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)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## EDITORIAL BOARD

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

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

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

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

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

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

**Vasiliev Yu.E.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, 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)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

# СОДЕРЖАНИЕ

Известия вузов  
Инвестиции. Строительство. Недвижимость

Том 15 № 4 2025

## СОДЕРЖАНИЕ

### ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

- Зедгенизов А.В., Зедгенизова А.Н., Чупин В.Р.** Оценка косвенного экономического эффекта организации дорожного движения при строительстве микрорайона Союз в плане Иркутска 612
- Калюжнова Н.Я., Кошурникова Ю.Е., Широколобова Г.В.** Инвестиционные механизмы ESG-трансформации: от корпоративного управления к инфраструктурным проектам 621
- Пешков В.В., Козьма М.В., Комаров К.А., Рудских В.В.** ESG-риски цепочек поставок в строительстве и их влияние на социально-экономическое развитие регионов Сибири 635

### СТРОИТЕЛЬСТВО

- Бадмаева И.А., Волкова Е.В.** Адаптация программного комплекса RENGA для проектирования мостовых сооружений 646
- Бобрик А.Г., Матюшенко А.И.** Рециклинг нефелинового шлама в эффективные сорбенты для глубокой очистки хромсодержащих сточных вод 655
- Бурбанов И.Д., Дмитриева Т.Л.** Современные подходы к топологической оптимизации несущих конструкций монолитных железобетонных зданий и сооружений 666
- Геворкян А.К., Сербин С.А., Фомин Н.И.** Коллизии в цифровой информационной модели строительного объекта на этапах проектирования и строительства и методика их выявления 675
- Дудина И.В., Камчаткина В.М.** Пути оптимизации железобетонных конструкций заводского изготовления на основе прикладных методов теории надежности 688
- Загруднинов И. Ф., Пучков М.В.** Применение BIM-технологий при возведении современного завода по производству железнодорожных колес «Аллегро» в особой экономической зоне «Титановая долина» в Верхней Салде 702
- Лавыгина О.Л., Гребнева О.А., Дударев В.И. Ярыгин Р.Н., Полторыхин С.А., Кульков В.Н.** Эколого-экономические аспекты сброса хозяйственно-бытовых сточных вод на Байкальской природной территории 711
- Петунин А.Г.** Жизненный цикл зданий с учетом физического износа 721
- Покатилов А.Г., Матвеева М.В., Пешков А.В., Шкитин П.В.** Физика процесса управления на этапах организационно-технологического проектирования и строительного производства жизненного цикла объекта капитального строительства 727
- Сколубович А.Ю., Саргсян А.Д.** Определение экономической эффективности жизненного цикла сооружений водоотведения 734
- Тлявлиня Г.В.** Интегральная оценка конструкций инженерной защиты транспортных сооружений от гидродинамических воздействий морских волн 745

### АРХИТЕКТУРА. ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. ДИЗАЙН

- Еремин Н.С.** Постбрутализм и Постмодернизм в архитектуре Иркутска 1990-х – 2010-х годов 756
- Фазлыева С.И., Гришина М.П.** Комплексная оценка состояния существующих объектов для домашних и бездомных животных 770

# CONTENTS

## Proceedings of Universities Investment. Construction. Real estate

Том 15 № 4 2025

### CONTENTS

#### ECONOMICS AND MANAGEMENT

- Zedgenizov A.V., Zedgenizova A.N., Chupin V.R.** Assessment of the indirect economic effect of road traffic management during the construction of the Soyuz microdistrict in the Irkutsk city plan 612
- Kalyuzhnova N.Ya., Koshurnikova Y.E., Shirokolobova G.V.** Investment mechanisms of ESG transformation: from corporate governance to infrastructure projects 621
- Peshkov V.V., Kozma M.V., Komarov K.A., Rudskikh V.V.** ESG-risks of supply chains in construction and their impact on the socio-economic development of Siberian regions 635

#### CONSTRUCTION

- Badmaeva I.A., Volkova E.V.** Adaptation of the RENGA software package for the design of bridge structures 646
- Bobrik A.G., Matyushenko A.I.** Recycling of nepheline sludge into effective sorbents for deep purification of chromium-containing wastewater 655
- Burbanov I.D., Dmitrieva T.L.** Modern approaches to topological optimization of load-bearing structures of monolithic reinforced concrete buildings and structures 666
- Gevorkyan A.K., Serbin S.A., Fomin N.I.** Collisions in the digital information model of a construction object at the stages of design and construction and the methodology for their identification 675
- Dudina I.V., Kamchatkina V.M.** Ways to optimize factory-made reinforced concrete structures based on applied methods of reliability theory 688
- Zagrutdinov I.F., Puchkov M.V.** The use of BIM technologies in the construction of a modern Allegro railway wheel manufacturing plant in the Titanium Valley Special Economic Zone in Verkhnyaya Salda 702
- Lavygina O.L., Yarygin R.N., Dudarev V.I., Grebneva O.A., Poltorykhin S.A., Kulkov V.N.** Ecological and economic aspects of the discharge of domestic wastewater in the Baikal natural area 711
- Petunin A.G.** The life cycle of buildings taking into account physical wear and tear 721
- Pokatilov A.G., Matveeva M.V., Peshkov A.V., Shkitin P.V.** Physics of the management process at the stages of organizational and technological design and construction production of the life cycle of capital construction facility 727
- Skolubovich A.Yu., Sargsyan A.D.** Determination of the economic efficiency of the life cycle of wastewater disposal facilities 734
- Tlyavlina G.V.** Integral assessment of engineering protection structures of transport structures from hydrodynamic effects of sea waves 745

#### ARCHITECTURE. URBAN CONSTRUCTION. DESIGN

- Eremin N.S.** Postbrutalism and postmodernism in the architecture of Irkutsk in the 1990s and 2010s 756
- Fazlyeva S.I., Grishina M.P.** Comprehensive assessment of the condition of existing facilities for domestic and homeless animals 770



## Оценка косвенного экономического эффекта организации дорожного движения при строительстве микрорайона Союз в плане г. Иркутска

А.В. Зедгенизов<sup>✉1</sup>, А.Н. Зедгенизова<sup>2</sup>, В.Р. Чупин<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

**Аннотация.** В статье рассматривается проблемы экономических потерь, связанных с влиянием многоэтажной застройки на прилегающую улично-дорожную сеть. Дана общая оценка современного состояния рассматриваемой проблематики как в России, так и за рубежом. Приводятся работы и пути решения рассматриваемой проблемы в известных публикациях и руководствах. Предложены результаты исследований микрорайона Союз, расположенного в плане г. Иркутска. Оценена его генерирующая способность, доля посетителей, прибывающих на автомобильном транспорте индивидуального пользования, его среднее наполнение и продолжительность паркования. Особое внимание уделено расчету коэффициентов суточной неравномерности, которые показывают неравномерность распределения транспортного спроса к рассматриваемой территории. Предложен теоретический аспект оценки транспортного спроса, состоящий из генерирующей способности многоэтажной жилой застройки, ее распределением во временном аспекте и итоговой интенсивностью автомобильного транспорта индивидуального пользования. Выполнен расчет потерь времени участников дорожного движения на запитывающем пересечении микрорайона Союз. На основе экономических критериев, выраженных через оценку транспортной задержки, дана оценка косвенного экономического эффекта в случае отсутствия мероприятий по организации дорожного движения на рассматриваемом пересечении. Рассмотрены пути снижения потерь времени автомобильным транспортом индивидуального пользования за счет мероприятий, позволяющих повысить эффективность организации дорожного движения в зоне влияния микрорайона Союз.

**Ключевые слова:** генерирующая способность, косвенный экономический эффект, организация дорожного движения, транспортный спрос

**Для цитирования:** Зедгенизов А.В., Зедгенизова А.Н., Чупин В.Р. Оценка косвенного экономического эффекта организации дорожного движения при строительстве микрорайона Союз в плане Иркутска // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 4. С. 612–620. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-4-612-620>. EDN: BJEVCJ.

### Original article

## Assessment of the indirect economic effect of road traffic management during the construction of the Soyuz microdistrict in the Irkutsk city plan

Anton V. Zedgenizov<sup>✉1</sup>, Alla N. Zedgenizova<sup>2</sup>, Victor R. Chupin<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

**Abstract.** The article examines the problems of economic losses associated with the impact of multi-storey buildings on the adjacent street and road network. A general assessment of the current state of the considered issues is given both in Russia and abroad. The works and solutions to the problem under consideration are given in well-known publications and manuals. The research results of the Soyuz microdistrict, located in the Irkutsk city plan, are proposed. Its generating capacity, the proportion of visitors arriving by private road transport, its average occupancy and duration of parking are estimated. Special attention is paid to calculating the coefficients of daily unevenness, which show the uneven distribution

of transport demand to the territory under consideration. A theoretical aspect of assessing transport demand is proposed, consisting of the generating capacity of multi-storey residential buildings, its distribution in the time aspect and the total intensity of individual motor transport. The calculation of the time losses of road users at the powering intersection of the Soyuz microrail was performed. Based on economic criteria expressed through an assessment of traffic delays, an assessment of the indirect economic effect is given in the absence of traffic management measures at the intersection in question. Ways to reduce the loss of time by individual-use road transport through measures to improve the efficiency of traffic management in the zone of influence of the Soyuz microdistrict are considered.

**Keywords:** generating capacity, indirect economic effect, traffic management, transport demand

**For citation:** Zedgenizov A.V., Zedgenizova A.N., Chupin V.R. Assessment of the indirect economic effect of road traffic management during the construction of the Soyuz microdistrict in the Irkutsk city plan. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2025;15(4):612–620. (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-4-612-620>. EDN: BJEVCJ.

## ВВЕДЕНИЕ

Развитие городов, как одного из способов коллективного существования людей, создает целый комплекс проблем, связанных с организацией хозяйственной и бытовой деятельности горожан.

Одной из ключевых проблем является транспорт – чем больше по своей численности и по размеру становятся города, тем сложнее обеспечить нормальное транспортное обслуживание его жителей [1–8].

С другой стороны, нельзя не отметить развитие систем транспорта, которые нацелены на массовость и создание высоких скоростей сообщения. Как правило, это внедорожные системы типа метрополитена, скайлайна и других транспортных систем, работающих на изолированных линиях. Их существенным недостатком является высокая стоимость, а крайне высокая окупаемость сопоставима с продолжительностью нескольких поколений, однако, только такие системы способны удовлетворить транспортный спрос в мегаполисах.

В последние десятилетия активно стали использоваться методы организации дорожного движения для повышения скорости сообщения и провозной способности наземного транспорта. Это выделенные полосы для маршрутного транспорта, в том числе и трамвайные системы, а также различные способы приоритета в движении на пересечениях [9–18]. Следует отметить, что транспорт, как техническая система урбанизированной территории, лишь инструмент связи отдельных элементов этой территории, однако, суть возникновения потребности в передвижениях и связи кроется в градостроительном устройстве современных городов. Часто людям приходится совершать трудовые корреспонденции, преодолевая десятки километров, из-за выгодных социальных

условий (заработная плата, уникальность профессии и др.).

Таким образом, размещение в плане города общественно значимых центров массового тяготения неминуемо будет влиять на целый перечень технических параметров транспортной системы города.

К таким параметрам следует отнести среднюю дальность и продолжительность поездки, наполняемость систем общественного транспорта и загрузку улично-дорожной сети (УДС), транспортную доступность и др.

Указанные параметры оказывают экономическое влияние не только на те участки УДС в непосредственной близости от которых они расположены, но и на всю транспортную экономику города. Следовательно, учет и выявление закономерностей экономического и транспортного секторов экономики является важной научно-практической задачей.

## МЕТОДЫ

Особым влиянием на УДС характеризуется многоэтажная жилая застройка (МЖЗ). Для выявления транспортного спроса, генерируемого МЖЗ, и целого ряда количественных характеристик, влияющих на функционирование УДС, необходимо проводить натурные исследования. В частности, было проведено исследование крупного мкр-на Союз в г. Иркутске. Одной из главных характеристик функционирования центров массового тяготения в целом и МЖЗ в частности является удельная генерация корреспонденций, показывающая число поездок:

$$G = \frac{N_{\text{сум}}}{S}, \quad (1)$$

где  $N_{\text{сум}}$  – общее число корреспонденций, совершенных к/от объекту(а) за рассматриваемый период (сут.), чел.,  $S$  – площадь территории,  $\text{м}^2$ .

Следует учесть, что удельная генерация корреспонденций учитывается за суточный период, а параметры организации дорожного движения (ОДД) за часовый (пиковый), следовательно требуется пересчет, который возможен на основании коэффициента суточной неравномерности:

$$k_{\text{сн}} = \frac{N_{\text{час}}}{N_{\text{сум}}}, \quad (2)$$

где  $N_{\text{час}}$  – число корреспонденций, совершенных к объекту за рассматриваемый час, чел.

Таким образом, в результате суточного исследования можно получить коэффициенты суточной неравномерности функционирования центров массового тяготения, в частности мкрн Союз.

Следует отметить, что горожане предпочитают разные способы передвижения. Часть из них перемещается с использованием общественного транспорта или пешком, а это означает, что эта часть корреспонденций не нагружает УДС, а другая часть нагружает, т. е. используется автомобильным транспортом индивидуального использования (АТИП).

Как правило, это легковые автомобили, средняя вместимость которых не превышает пять мест, а среднее наполнение варьируется в пределах 1,2–1,8 чел./авт [10].

Таким образом, общее число прибывающих посетителей (корреспонденций по прибытию) будет учтено:

$$N_{\text{ИТ}} = N_{\text{час}} \cdot P_{\text{ИТ}}, \quad (3)$$

где  $P_{\text{ум}}$  – доля поездок с использованием АТИП. Совершенно очевидно, что долю поездок на АТИП необходимо выявлять натурным способом. Зная число корреспонденций, совершаемых на АТИП и среднее наполнение АТИП, можно вычислить их интенсивность за пиковый период:

$$V_{\text{ИТ}} = \frac{N_{\text{ИТ}}}{n}, \quad (4)$$

где  $n$  – среднее наполнение АТИП, которое определяется натурным способом, а в противном принимается из ранее проведенных исследований по центрам массового тяготения соответствующих тому же типу. Интенсивность АТИП является тем самым ключевым параметром, который влияет на организацию дорожного движения и, соответственно, на ее экономические критерии. Основным критерием для экономического сектора являются задержки пассажиров, связанные с проездом как отдельных участков УДС, так и всего маршрута в целом.

Оценить задержки, связанные с проездом пересечений запрашивающих центры массового тяготения, можно по выражению [19, 9]:

$$d = d_1 + d_2, \quad (5)$$

где  $d$  – задержка регулирования на один легкой автомобиль, с/ед.,  $d_1$  – стандартная задержка, предполагающая одинаково повторяющееся прибытие автомобилей к перекрестку, с/ед.:

$$d_1 = \frac{0,5 \cdot C \cdot \left(1 - \frac{g}{C}\right)^2}{1 - \left[\min(1, X) \cdot \frac{g}{C}\right]}, \quad (6)$$

$d_2$  – дополнительная задержка, учитывающая случайность прибытия транспортных средств, при этом предполагается, что величина начальной очереди автомобилей равна нулю, с/ед.:

$$d_2 = 900 \cdot T \left[ (X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{8kIX}{cT}} \right], \quad (7)$$

где  $C$  – длина цикла регулирования, с,  $c$  – пропускная способность, ед/ч;  $g$  – длительность разрешающего сигнала, с;  $X$  – уровень 1 загрузки.  $T$  – длина анализируемого периода (обычно принимается 0,25), ч,  $k$  – коэффициент, учитывающий влияние параметров светофорного оборудования при адаптивном регулировании на величину дополнительной задержки (при жестком регулировании – 0,5),  $l$  – коэффициент, учитывающий удаленность предыдущего (по направлению движения) регулируемого перекрестка от рассматриваемого (для изолированного рассмотрения перекрестка – 1,0).

Общие потери времени транспортными средствами за год на регулируемом пересечении определяются по формуле:

$$T_{\text{общ}} = \frac{365 \cdot (V_{\text{гл}} + V_{\text{вт}}) \cdot d}{3600 \cdot k_{\text{сн}}}, \quad (8)$$

где  $V_{\text{гл}}$  и  $V_{\text{вт}}$  – интенсивность движения по главной и второстепенной дороге в час пик, соответственно, авт/ч,  $d$  – средневзвешенное значение задержки, с.

Экономический эффект от сокращения потерь времени транспортными средствами определяется по формуле:

$$\Delta_{\text{АТИП}} = \sum (T_{\text{тс}}^{\text{б}} - T_{\text{тс}}^{\text{пп}}) \cdot \tau_{\text{тс}i}, \quad (9)$$

где  $T_{\text{тс}}^{\text{б}}$  – годовые потери времени АТИП, в базовом и проектируемом вариантах, ч,

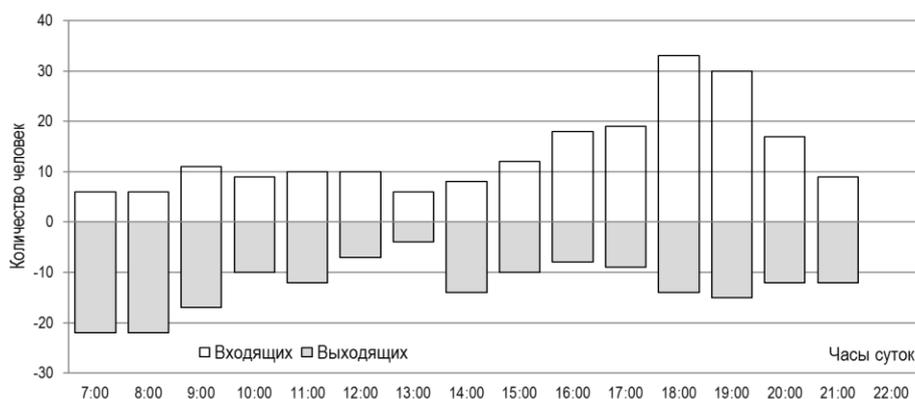
$\tau_{\text{АТИП}}$  – стоимость одного автомобиле-часа АТИП, руб [20–24].

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

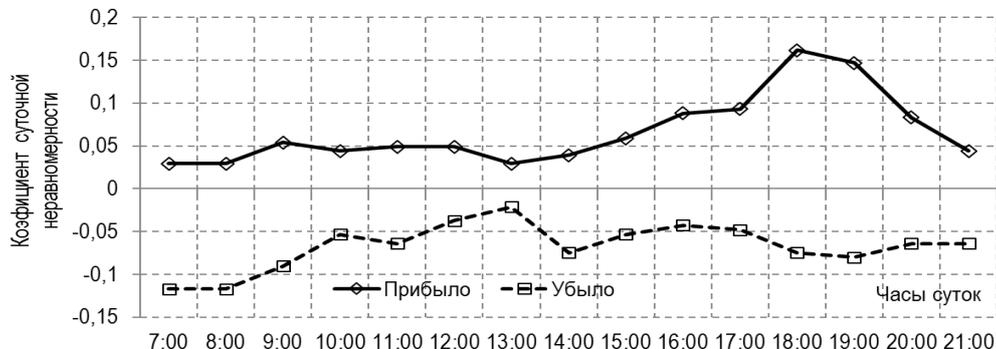
В результате натурных исследований одной блок-секции по адресу г. Иркутск, пр. Юрия Тена, 10, общей площадью 7200 м<sup>2</sup>, было выявлено:

- общее количество посетителей 204 корреспонденции (рис. 1);
- коэффициенты суточной неравномерности, максимальное значение (коэффициент суточного максимума) зафиксирован с 18:00 до 19:00 часов, значение которого составлено 0,16 (рис. 2);

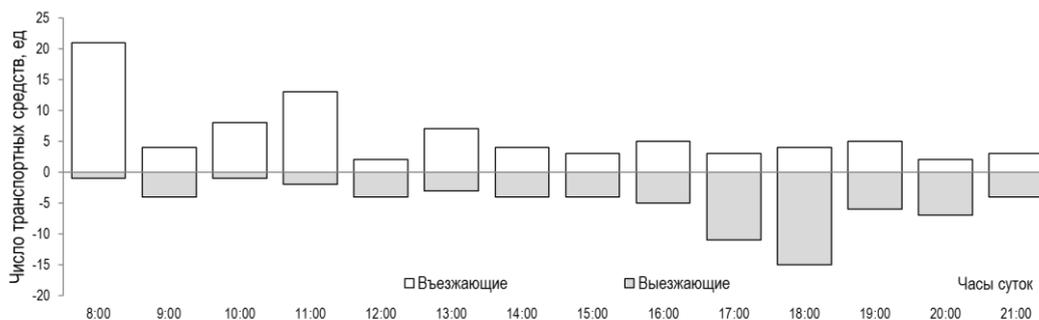
- среднее наполнение АТИП составило 1,44 чел./авт.;
- общая численность АТИП за период исследований составила 89 ед., что вместе со средним наполнением соответствует 129 корреспонденциям (рис. 3);
- максимальное число припаркованных АТИП за период исследования составило 49 ед. в период с 15:00 до 15:20, а средняя продолжительность парковки составила 380 мин (рис. 4).
- учитывая суммарное количество корреспонденций, доля посетителей на АТИП составляет 63 %.



**Рис. 1. Общее количество посетителей объекта исследования**  
**Fig. 1. Total number of visitors to the research object**



**Рис. 2. Коэффициенты суточной неравномерности объекта исследования**  
**Fig. 2. Coefficients of daily non-uniformity of the object of study**



**Рис. 3. Общее число зафиксированного автомобильного транспорта индивидуального использования**  
**Fig. 3. The total number of registered motor vehicles of individual use**



**Рис. 4. Число припаркованного автомобильного транспорта индивидуального использования по часам суток**  
**Fig. 4. The number of parked vehicles of individual use by the hours of the day**

Таким образом, полученные натурные данные исследования позволяют вычислить удельную генерацию (1):

$$G = \frac{204}{7200} = 0,028 \text{ чел./м}^2,$$

число посетителей, за рассматриваемый пиковый час (18:00–19:00):

$$N_{\text{час}} = N_{\text{сум}} \cdot k_{\text{сн}} = 204 \cdot 0,16 \approx 33 \text{ чел.},$$

следовательно, учитывая среднее наполнение, интенсивность АТИП составит:

$$V \frac{\text{час}}{\text{ИТ}} = \frac{33}{1,44} \approx 23 \frac{\text{ед}}{\text{ч}}.$$

Таким образом, можно констатировать, что 7200 м<sup>2</sup> рассматриваемого объекта генерируют

23 ед./ч АТИП в пиковый период. Учитывая, что общая площадь высокоэтажной застройки микрорайона, состоящей из 26 блок-секций, составляет порядка 180 тыс. м<sup>2</sup>, то общая интенсивность АТИП в пиковый период составит 575 ед./ч. Учитывая, что задержки транспортных средств тесно связаны со схемой ОДД и режимом работы светофорной сигнализации, то в таблице представлены основные характеристики функционирования рассматриваемого пересечения.

Исследования, направленные на выявление транспортного спроса, проводились в работах [25].

Основные характеристики пересечения объездная дорога Первомайский – Университетский – ул. Улан-Баторская

Main characteristics of the intersection of Pervomaisky – Universitetskiy bypass road and Ulaanbaatarskaya street

Показатель	Группа полос (налево)
N, ед./ч	286
N, добавочная, ед./ч	575
c, авт./ч	967
g, с	25
C, с	82
X	0,89
d <sub>баз</sub> , с/ед.	16

Учитывая, что наиболее деятельным с точки зрения запитывания мкр-н Союз является перекресток объездной дороги Первомайский – Университетский – ул. Улан-Баторская, то спрос на левый поворот на ул. Улан-Баторская вырос на 575 ед./ч. В этой связи, при отсутствии мероприятий по организации дорожного движения, направленных на увеличение

пропускной способности данного пересечения в целом и левого поворота в частности, будут возникать дополнительные задержки:

$$d_1 = \frac{0,5 \cdot 82 \cdot \left(1 - \frac{25}{82}\right)^2}{1 - \left[0,89 \cdot \frac{25}{82}\right]} = 28,6 \text{ с.}$$

$$d_2 = 900 \cdot 0,25 \left[ (0,89 - 1) + \sqrt{(0,89 - 1)^2 + \frac{8 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 0,89}{967 \cdot 0,25}} \right] = 19,4c$$

Следовательно, суммарная дополнительная задержка левостороннего подхода составит 48 с/ед., а годовая:

$$T_{\text{общ}} = \frac{365 \cdot 575 \cdot 48}{3600 \cdot 0,16} = 17489 \text{ ч/год,}$$

аналогично рассчитываются общие потери времени для базового варианта с учетом меньшей базовой интенсивности и задержки, которые составят 2899 ч/год. Учитывая восьмичасовой рабочий день по пять дней в неделю, то в месяц это 176 ч. В Иркутской области средняя зарплата составляет 87 473 руб. (на начало 2025), то есть 497,6 руб. в ч. Косвенный экономический эффект от сокращения потерь времени АТИП составляет:

$$Э_{\text{АТИП}} = (2899 - 17489) \cdot 497 = -8\,741\,601 \text{ руб.}$$

Отрицательное значение косвенного экономического эффекта показывает возможные потери в случае отсутствия мероприятий по организации дорожного движения направленных на снижение задержек, возникающих вследствие увеличения интенсивности транспортного потока к мкр-н Союз.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Размещение в плане города крупных центров массового тяготения, в том числе и МЖЗ, всегда влечет за собой изменение транспорт-

ного спроса, оценку которого необходимо проводить как предварительно, пользуясь уже существующими исследованиями и закономерностями по схожим центрам массового тяготения, так и непосредственно после его введения в эксплуатацию.

Было проведено обследование одной из блок-секций и выявлена удельная генерация корреспонденций, составляющая 0,028 чел/м<sup>2</sup>. Максимальное значение (коэффициент суточного максимума) зафиксирован с 18:00 до 19:00 ч, значение которого составлено 0,16. Среднее наполнение АТИП составило 1,44 чел./авт., а средняя продолжительность парковки составила 380 мин. Доля посетителей на АТИП составит 63 %.

Подсчитано, что дополнительная интенсивность АТИП в пиковый период составит 575 ед./ч, что в значительной степени увеличит нагрузку на запитывающее пересечение и увеличит задержки АТИП с 16 до 48 с/ед., что приведет к потерям 8 741 601 руб. в год. С целью минимизации потерь необходимо предусмотреть реконструкцию пересечения, учитывающую увеличение пропускной способности левого поворота с объездной дороги Первомайский – Университетский на ул. Улан-Баторская путем добавления второй полосы и расчета оптимального режима работы светофорной сигнализации.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Вучик В.Р. Транспорт в городах удобных для жизни / пер. с англ. А. Калинина. М.: Территория будущего, 2011. 413 с.
2. Хитрова Т.И., Коротенко А.П. Разработка транспортных проектов Иркутской области на основе моделей транспортного спроса // Известия Байкальского государственного университета. 2021. Т. 31. № 1. С. 34–42. [https://doi.org/10.17150/2500-2759.2021.31\(1\).34-42](https://doi.org/10.17150/2500-2759.2021.31(1).34-42). EDN: TSFIFJ.
3. Лосин Л.А., Булычева Н.В. Сравнительный анализ транспортного спроса и предложения в моделях транспортных систем городских агломераций // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2023. Т. 20. № 4. С. 943–953. <https://doi.org/10.20295/1815-588X-2023-4-943-953>. EDN: TZLEPI.
4. Лебедева О.А., Кулакова И.М., Ерофеев Е.В. Решение задачи оценки транспортного спроса путем применения оптимизационных подходов // Современные технологии и научно-технический прогресс. 2025. № 12. С. 177–178. EDN: OPIOW.
5. Лебедева О.А. Выбор модели оценки транспортного спроса с учетом входных данных // Современные технологии и научно-технический прогресс. 2025. № 12. С. 169–170. EDN: OXXZHL.
6. Golovnin O.K. Data Federation through On-Demand Queries in Intelligent Transport Systems // Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1694. P. 1–8. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1694/1/012030>. EDN: CUVZXC.
7. Kakar K.A., Prasad C.S.R.K. Impact of Urban Sprawl on Travel Demand for Public Transport, Private Transport and Walking // Transportation Research Procedia. 2020. Vol. 48. P. 1881–1892. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.08.221>.
8. Liu Z.Y., Li C.B., Jian M.Y. Study on the Equilibrium Discriminant Model of Urban Agglomeration Transport Supply and Demand Structure // Journal of Advanced Transportation. 2018. Vol. 2018. Iss. 1. P. 1–10. <https://doi.org/10.1155/2018/2051606>.
9. Зедгенизов А.В. Оценка качества организации дорожного движения на основе транспортного спроса: монография. Иркутск: Изд-во Иркутского национального исследовательского технического университета, 2019. 194 с.

10. Зедгенизов А.В. Организация дорожного движения на основе оценки транспортного спроса к центрам массового тяготения по параметрам их расположения на урбанизированных территориях // Транспортное планирование и моделирование. Сб. трудов IV Междунар. науч.-практ. конф. (г. Санкт-Петербург, 11–12 апреля 2019 г.). СПб, 2019. С. 68–72. EDN: BWOCVD.
11. Караблин О.В. Об особенностях формирования транспортной системы и транспортного спроса Ростовской агломерации // Бюллетень транспортной информации. 2021. № 9. С. 38–44. EDN: TSRPBM.
12. Захаров Д.А. Пространственная неравномерность распределения по районам города Тюмени транспортного спроса на передвижение индивидуальным и общественным транспортом // Вестник гражданских инженеров. 2023. № 3. С. 114–122. <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2023-20-3-114-122>. EDN: MSKEZX.
13. Бабич Т.Г., Тестешев А.А. Обоснование параметрических характеристик формализованной модели транспортного спроса на улицах с нерегулярным движением // Вестник гражданских инженеров. 2022. № 5. С. 99–108. <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2022-19-5-99-108>. EDN: AUIIUF.
14. Saxena N., Rashidi T., Rey D. Determining the Market Uptake of Demand Responsive Transport Enabled Public Transport Service // Sustainability. 2020. Vol. 12. Iss. 12. P. 1–18. <https://doi.org/10.3390/su12124914>.
15. Cyril A., Mulangi R.H., George V. Demand-Based Model for Line Planning in Public Transport // Transportation Research Procedia. 2020. Vol. 48. P. 2589–2596. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.08.252>.
16. Lezhnina Y.A., Maltseva N.S. Analysis of Transport Supply and Demand Based on Convolutional Neural Networks // Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol. 2091. P. 1–6. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2091/1/012060>.
17. Thomas H., Carmona Aparicio L.G., Creutzig F., Hara T., Hayashi A., Ludovique C. et al. Models and Methods for Transport Demand and Decarbonisation: A Review // Environmental Research Letters. 2024. Vol. 19. Iss. 9. P. 1–22. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ad6b3a>.
18. Белогребень А.А., Донченко В.В., Съедин О.Н. Методика оценки социально-экономического эффекта от реализации проектных решений в области организации дорожного движения // Научный вестник автомобильного транспорта. 2020. № 1. С. 20–34. EDN: BFSMZM.
19. Копылов М.А. Оценка убытков от транспортных заторов и возможные мероприятия по снижению затрат // Молодой исследователь Дона. 2022. № 1. С. 28–36. EDN: CNTZGI.
20. Соколов Ю.И., Лавров И.М. Экономическая оценка взаимосвязи уровня качества транспортного обслуживания и спроса на грузовые перевозки // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. 2022. № 6. С. 15–18. EDN: XSDRAW.
21. Поляков А.С. Технологии сбора и анализа больших данных в целях мониторинга транспортного спроса населения // Наукосфера. 2022. № 1-1. С. 227–232. EDN: NESQIH.
22. Profillidis V.A., Botzoris G.N. Modeling of Transport Demand: Analyzing, Calculating, and Forecasting Transport Demand. Amsterdam: Elsevier, 2018. 500 p. <https://doi.org/10.1016/C2016-0-00793-3>.
23. Deenapanray P.N.K., Khadun N.A. Land Transport Greenhouse Gas Mitigation Scenarios for Mauritius Based on Modelling Transport Demand // Transportation Research Interdisciplinary Perspectives. 2021. Vol. 9. P. 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2021.100299>.
24. Jingti Han, Zhouping Li Modeling the Transport Network Flow Distribution Based on Transport Demand // IEEE International Conference on Information Science and Technology. 2012. P. 92–95. <https://doi.org/10.1109/ICIST.2012.6221614>.
25. Atanasova V., Stojanoska M. The meaning and methods of transport demand forecast // Znanstvena Misel. 2023. Vol. 84. P. 28–32. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10224295>.

## REFERENCES

1. Vuchik V.R. Transport in Livable Cities, 2011. 413 p. (Russ. ed.: *Transport v gorodakh udobnykh dlya zhizni*. Moscow: Territory of the Future; 2011, 413 p.).
2. Khitrova T.I., Korotenko A.P. Development of Transport Projects in the Irkutsk Region Based On Transport Demand Models. *Bulletin of Baikal State University*. 2021;31(1):34-42. (In Russ.). [https://doi.org/10.17150/2500-2759.2021.31\(1\).34-42](https://doi.org/10.17150/2500-2759.2021.31(1).34-42). EDN: TSFIFJ.
3. Losin L.A., Bulycheva N.V. Comparative Analysis of Transport Demand and Offer in Models of Transport Systems of Urban Agglomerations. *Proceedings of Petersburg Transport University*. 2023;20(4):943-953. (In Russ.). <https://doi.org/10.20295/1815-588X-2023-4-943-953>. EDN: TZLEPI.
4. Lebedeva O.A., Kulakova I.M., Erofeev E.V. Solving Problem of Assessing Transport Demand by Using Optimization Approaches. *Modern Technologies and Scientific and Technological Progress*. 2025;12:177-178. (In Russ.). EDN: OPIONW.

5. Lebedeva O.A. Selecting A Model for Assessing Transport Demand Taking into Account Input Data. *Modern Technologies and Scientific and Technological Progress*. 2025;12:169-170. (In Russ.). EDN: OXXZHL.
6. Golovnin O.K. Data Federation through On-Demand Queries in Intelligent Transport Systems. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020;1694:1-8. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1694/1/012030>. EDN: CUVZXC.
7. Kakar K.A., Prasad C.S.R.K. Impact of Urban Sprawl on Travel Demand for Public Transport, Private Transport and Walking. *Transportation Research Procedia*. 2020;48:1881-1892. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.08.221>.
8. Liu Z.Y., Li C.B., Jian M.Y. Study on the Equilibrium Discriminant Model of Urban Agglomeration Transport Supply and Demand Structure. *Journal of Advanced Transportation*. 2018;2018(1):1-10. <https://doi.org/10.1155/2018/2051606>.
9. Zedgenizov A.V. *Assessment of The Quality of Traffic Organization Based on Transport Demand: Monograph*. Irkutsk: Publishing house of Irkutsk National Research Technical University, 2019. 194 p. (In Russ.).
10. Zedgenizov A.V. Traffic Management on the Basis on Estimation of Transport Demand to the Centers of Mass Gravity by the Parameters of Their Location on Urbanized Territories. In: *Transportnoe planirovanie i modelirovanie. Sbornik trudov IV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Transport planning and modeling. Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference*. 11–12 April 2019, Saint Petersburg. Saint Petersburg; 2019. P. 68–72. (In Russ.). EDN: BWOCVD.
11. Karablin O.V. About the Peculiarities of the Formation of the Transport System and Rostov Agglomeration Transport Demand. *Bulletin of Transport Information*. 2021;9:38-44. (In Russ.). EDN: TSRPBM.
12. Zakharov D.A. Spatial Unevenness of the Transport Demand Distribution for Movement by Private and Public Traffic Transportation in the Districts of the City of Tyumen. *Bulletin of Civil Engineers*. 2023;3:114-122. (In Russ.). <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2023-20-3-114-122>. EDN: MSKEZX.
13. Babich T.G., Testeshev A.A. Substantiation of Parametric Characteristics of a Formalized Model of Transport Demand on Streets with Irregular Traffic // *Bulletin of Civil Engineers*. 2022;5:99-108. (In Russ.). <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2022-19-5-99-108>. EDN: AUIIUF.
14. Saxena N., Rashidi T., Rey D. Determining the Market Uptake of Demand Responsive Transport Enabled Public Transport Service. *Sustainability*. 2020;12(12):1-18. <https://doi.org/10.3390/su12124914>.
15. Cyril A., Mulangi R.H., George V. Demand-Based Model for Line Planning in Public Transport // *Transportation Research Procedia*. 2020;48:2589-2596. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.08.252>.
16. Lezhnina Y.A., Maltseva N.S. Analysis of Transport Supply and Demand Based on Convolutional Neural Networks. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021;2091:1-6. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2091/1/012060>.
17. Thomas H., Carmona Aparicio L.G., Creutzig F., Hara T., Hayashi A., Ludovique C. et al. Models and Methods for Transport Demand and Decarbonisation: A Review. *Environmental Research Letters*. 2024;19(9):1-22. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ad6b3a>.
18. Belogreben A.A., Donchenko V.V., Sedin O.N. Methodology for Assessing the Socio-Economic Effect of Implementing Project Solutions in the Field of Traffic Management. *Nauchnyi vestnik avtomobilnogo transporta*. 2020;1:20-34. (In Russ.). EDN: BFSMZM.
19. Kopylov M.A. Assessment of Losses from Traffic Jams and Possible Measures to Reduce Costs. *Young Researcher of the Don*. 2022;1:28-36. (In Russ.). EDN: CNTZGI.
20. Sokolov Yu.I., Lavrov I.M. Economic Assessment of the Relationship between the Quality Level of Transport Services and the Demand for Freight Transportation. *Transport of the Russian Federation*. 2022;6:15-18. (In Russ.). EDN: XSDRAW.
21. Polyakov A.S. Technologies of Collection and Analysis of Big Data for the Purpose of Monitoring Transport Demand of the Population. *Naukosfera*. 2022;1-1:227-232. (In Russ.). EDN: NESQIH.
22. Profillidis V.A., Botzoris G.N. *Modeling of Transport Demand: Analyzing, Calculating, and Forecasting Transport Demand*. Amsterdam: Elsevier, 2018. 500 p. <https://doi.org/10.1016/C2016-0-00793-3>.
23. Deenapanray P.N.K., Khadun N.A. Land Transport Greenhouse Gas Mitigation Scenarios for Mauritius Based on Modelling Transport Demand. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*. 2021;9:1-10. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2021.100299>.
24. Jingti Han, Zhouping Li Modeling the Transport Network Flow Distribution Based on Transport Demand. *IEEE International Conference on Information Science and Technology*. 2012:92-95. <https://doi.org/10.1109/ICIST.2012.6221614>.
25. Atanasova V., Stojanoska M. The Meaning and Methods of Transport Demand Forecast. *Znanstvena Misel*. 2023;84:28-32. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10224295>.

Информация об авторах

**Зедгенизов Антон Викторович**,  
д.т.н., доцент,  
профессор кафедры нефтегазового дела,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,  
Россия,  
✉ e-mail: azedgen@gmail.com  
<https://orcid.org/0009-0001-9520-9856>  
Author ID: 504187

**Зедгенизова Алла Николаевна**,  
к.т.н., доцент кафедры экспертизы и управления  
недвижимостью,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,  
Россия,  
e-mail: zedgenizova@gmail.com  
<https://orcid.org/0009-0009-6195-7301>  
Author ID: 1306290

**Чупин Виктор Романович**,  
д.т.н., профессор, заведующий кафедрой  
городского строительства и хозяйства,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,  
e-mail: chupinvr@istu.edu  
<https://orcid.org/0000-0001-5460-4780>  
Author ID: 475565

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 15.09.2025.  
Одобрена после рецензирования 17.10.2025.  
Принята к публикации 05.11.2025.

Information about the authors

**Anton V. Zedgenizov**,  
Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor,  
Professor of the Department of Oil  
and Gas Engineering,  
Irkutsk National Research  
Technical University,  
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,  
✉ e-mail: azedgen@gmail.com  
<https://orcid.org/0009-0001-9520-9856>  
Author ID: 504187

**Alla N. Zedgenizova**,  
Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor  
of the Department of Real Estate Expertise  
and Management,  
Irkutsk National Research  
Technical University,  
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,  
e-mail: zedgenizova@gmail.com  
<https://orcid.org/0009-0009-6195-7301>  
Author ID: 1306290

**Victor R. Chupin**,  
Dr. Sci. (Eng.), Professor,  
Head of the Department of Urban  
Construction and Economy,  
Irkutsk National Research Technical University,  
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,  
e-mail: chupinvr@istu.edu  
<https://orcid.org/0000-0001-5460-4780>  
Author ID: 475565

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 15.09.2025.  
Approved after reviewing 17.10.2025.  
Accepted for publication 05.11.2025.



**Инвестиционные механизмы ESG-трансформации:  
от корпоративного управления к инфраструктурным проектам**

**Н.Я. Калюжнова<sup>1</sup>✉, Ю.Е. Кошурникова<sup>2</sup>, Г.В. Широколобова<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

<sup>2</sup>ООО «Байкальская радуга», Байкальск, Россия

<sup>3</sup>ООО «Цифровая лаборатория», Новолисиха, Россия

**Аннотация.** В условиях роста значимости устойчивого развития интеграция ESG-принципов становится ключевым направлением трансформации туристической отрасли, влияя как на корпоративное управление, так и на инвестиционную составляющую инфраструктурного обеспечения туризма. Настоящее исследование посвящено выявлению управленческих вызовов, с которыми сталкиваются российские туристические компании при внедрении ESG-подходов, а также разработке практических инструментов и моделей, обеспечивающих стратегическую адаптацию отрасли туризма к новой повестке. В новой модели менеджмента компаний особое внимание уделено клиентоцентричности как связующему элементу между социальной ответственностью, экономической устойчивостью и инвестиционной привлекательностью проектов. В инвестиционной составляющей особое значение приобретает развитие модульных коллективных средств размещения, отвечающих принципам ESG стратегии. Исследованы особенности и проблемы развития модульных отелей, соотношение модульных средств размещения и глэмпингов, как современной формы экологической инфраструктуры туризма, а также инвестиционные механизмы их развития. Цель работы заключается в разработке подходов к внедрению ESG-подходов в модели управления компаниями и развитием инфраструктуры туристского рынка. Систематизированы управленческие барьеры ESG-трансформации в российской отрасли туризма, проанализированы международные и отечественные кейсы внедрения устойчивых практик, а также подготовлены рекомендации для компаний и органов власти по институционализации ESG. Результаты показывают, что успешная ESG-трансформация требует управленческой инициативы, координации действий компаний с государственными и региональными структурами власти и инвестиций в инновационную и модульную инфраструктуру, создавая основу для устойчивого развития туризма в российских регионах.

**Ключевые слова:** устойчивое развитие, ESG-подход, инвестиции в туризме, барьеры ESG-трансформации в туризме, система управления туристической компанией

**Для цитирования:** Калюжнова Н.Я., Кошурникова Ю.Е., Широколобова Г.В. Инвестиционные механизмы ESG-трансформации: от корпоративного управления к инфраструктурным проектам // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 4. С. 621–634. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-4-621-634>. EDN: NSCNUY.

**Original article**

**Investment mechanisms of ESG transformation:  
from corporate governance to infrastructure projects**

**Nadezhda Ya. Kalyuzhnova<sup>1</sup>✉, Yulia E. Koshurnikova<sup>2</sup>, Galina V. Shirokolobova<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

<sup>2</sup>LLC Baikal Rainbow, Baikalsk, Russia

<sup>3</sup>LLC Digital Laboratory, Novolisikha, Russia

**Abstract.** In the context of the growing importance of sustainable development, the integration of ESG principles is becoming a key direction in the transformation of the tourism industry, influencing both corporate governance and the investment component of tourism infrastructure. This study is devoted to

© Калюжнова Н.Я., Кошурникова Ю.Е., Широколобова Г.В., 2025

identifying the managerial challenges faced by Russian tourism companies in implementing ESG approaches, as well as to developing practical tools and models that ensure the strategic adaptation of the tourism sector to the new agenda. In the new model of company management, special attention is paid to client-centricity as a connecting element between social responsibility, economic sustainability, and the investment attractiveness of projects. In the investment dimension, the development of modular collective accommodation facilities that comply with ESG strategy principles acquires particular importance. The study examines the features and challenges of modular hotel development, the correlation between modular accommodations and glamping as a modern form of ecological tourism infrastructure, as well as the investment mechanisms for their growth. The aim of the paper is to develop approaches for integrating ESG principles into company management models and the development of the tourism market infrastructure. Managerial barriers to ESG transformation in the Russian tourism sector have been systematized, international and domestic cases of implementing sustainable practices analyzed, and recommendations prepared for companies and public authorities on the institutionalization of ESG. The results show that successful ESG transformation requires managerial initiative, coordination of company actions with state and regional authorities, and investments in innovative and modular infrastructure, creating a foundation for sustainable tourism development in Russian regions.

**Keywords:** sustainable development, ESG approach, investments in tourism, barriers to ESG transformation in tourism, tourism company management system

**For citation:** Kalyuzhnova N.Ya., Koshurnikova Y.E., Shirokolobova G.V. Investment mechanisms of ESG transformation: from corporate governance to infrastructure projects. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2025;15(4):621-634. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-4-621-634>. EDN: NSCNUY.

## ВВЕДЕНИЕ

В последние годы концепция устойчивого развития перестала быть исключительно экологической или гуманитарной повесткой и прочно вошла в стратегическое управление компаниями и регионами.

Одним из ключевых ориентиров современного подхода к устойчивости стал ESG-подход, объединяющий экологические (Environmental), социальные (Social) и управленческие (Governance) аспекты деятельности. Изначально сформированный как инструмент оценки инвестиционных рисков и возможностей, ESG в XXI в. трансформировался в универсальный ориентир для принятия управленческих решений как в корпоративном, так и в государственном секторах.

Включение ESG-факторов в стратегическое планирование и операционную деятельность становится необходимым условием привлечения инвестиций, формирования устойчивого имиджа и обеспечения долгосрочной конкурентоспособности бизнеса. Особое значение ESG-переход приобретает в отраслях, чувствительных к природной и социальной среде, к числу которых относится туризм. Туризм – междисциплинарная отрасль, затрагивающая экологическую устойчивость территорий, экономическое развитие малого и среднего бизнеса, состояние инфраструктуры, социокультурные процессы и уровень занятости населения. Пространственная локализация туризма

делает его особенно важным инструментом регионального развития. Концепция исследования состоит в том, что внедрение ESG-принципов в систему управления в сфере туризма на уровне компаний и отрасли в целом позволяет не только повышать экологическую и социальную ответственность бизнеса, но более эффективно развивать туризм на региональном уровне, повышая его вклад в экономику региона. Одним из ключевых элементов устойчивого развития туристских компаний является клиентоцентричность, рассматриваемая как стратегическая управленческая установка, обеспечивающая долгосрочную конкурентоспособность. В условиях цифровизации клиентоцентричность выходит за рамки традиционного сервиса, она предполагает системное изучение ожиданий и поведения туристов и интеграцию этих данных в стратегическое планирование и проектирование туристических продуктов. Ориентация на клиента становится связующим звеном между социальным измерением ESG и экономической устойчивостью компании, формируя доверие и повышая адаптивность к изменениям рынка.

Не менее важным аспектом устойчивого развития является инвестиционный компонент, включающий модернизацию и расширение туристской инфраструктуры.

В числе перспективных направлений выделяется модульное строительство – создание быстровозводимых, экологичных и адаптивных

средств размещения (глэмпинги, контейнерные отели, визит-центры). Такие решения обеспечивают минимальное воздействие на природные ландшафты, возможность демонстрации или переноса объектов, экономическую эффективность и создание рабочих мест, особенно в регионах с ограниченной инфраструктурой. Государственная поддержка через субсидии снижает инвестиционные риски и делает проекты привлекательными для частных инвесторов, превращая модульное строительство в инструмент устойчивого развития и одновременно в реальный экономический актив. Тем не менее, несмотря на растущий интерес к ESG на уровне макрополитики и экспертного сообщества, ESG-подход в туристической отрасли остается слабо институционализирован. В отличие от промышленности и финансового сектора, где действуют стандарты нефинансовой отчетности и ESG-индикаторов, туристический бизнес часто оказывается вне системной ESG-трансформации. На практике наблюдается несоответствие между заявленными целями устойчивого туризма и реальными управленческими механизмами компаний и региональных органов. Это связано с отсутствием методических ориентиров, ограниченными ресурсами, а также недостатком компетенций в малом и среднем бизнесе [4]. В сфере модульного строительства до сих пор сохраняется неопределенность в понятии глэмпингов и модульных отелей и их соотношения, что затрудняет применение государственных механизмов финансирования и поддержки.

Таким образом, исследование управления туризмом в условиях ESG-перехода представляет собой актуальное направление, требующее комплексного подхода и практической фокусировки.

Особое значение приобретают выявление управленческих вызовов, с которыми сталкиваются субъекты туристского рынка при интеграции ESG-принципов, и разработка инструментов, адаптированных к региональным условиям.

Цель настоящего исследования заключается в систематизации управленческих вызовов ESG-трансформации в туристической отрасли России и разработке практических подходов к интеграции ESG-принципов в деятельность туристических компаний, в инвестиционно-инфраструктурное обеспечение развития туризма и региональную политику устойчивого развития.

Для достижения цели решаются следующие задачи:

– систематизации ESG-принципов применительно к туризму;

– анализ ключевых варьеров внедрения ESG-подходов в отрасли, включая институциональные, ресурсные и управленческие ограничения;

– оценка потенциала туризма как инструмента устойчивого развития региона с учетом экологических, социальных и управленческих факторов;

– исследование международной практики ESG-интеграции в туризме и возможности ее адаптации к российским условиям;

– обоснование поэтапной модели ESG-преобразования управления в туристской компании с учетом отраслевой специфики;

– формулировка рекомендаций для управленцев туристических компаний по трансформации системы менеджмента на основе ESG-принципов и инвестиционных инструментов, включая модульное строительство.

Предложенный подход позволяет рассматривать ESG не как абстрактную идеологию, а как конкретный набор ориентиров для менеджмента туристической компании, применимых в современных реалиях, особенно в регионах, заинтересованных в устойчивом, инклюзивном и инвестиционно привлекательном развитии.

#### **МЕТОДЫ**

Методологическая основа исследования базируется на концепции устойчивого развития и современных подходах стратегического ESG-управления в корпоративной и государственной практике. Работа использует междисциплинарный подход, отражающий специфику туризма как сферы пересечения экономических, социальных и экологических взаимодействий, что определяет современные тренды в системе менеджмента туристских компаний и регионального развития.

Объектом исследования выступают управленческие практики туристических компаний, а также новые формы туристической инфраструктуры, в частности модульное строительство и глэмпинги, соответствующие принципам ESG и инвестиционной привлекательности. Акцент сделан на механизмах принятия решений, связанных с реализацией экологических, социальных и управленческих аспектов устойчивости, а также на реакции менеджмента компаний и органов власти на новые вызовы, включая внедрение инновационных форм размещения и сервисов, адаптированных под требования устойчивого развития.

Предмет исследования – управленческие модели и стратегии, способствующие интеграции ESG-принципов и клиентоцентричного подхода в стратегическое и операционное управление туристскими компаниями. Особое внимание уделялось тому, как ориентация на

клиента становится связующим элементом между социальной ответственностью, экономической устойчивостью и инвестиционной привлекательностью проектов, включая модульную инфраструктуру.

Для анализа использовались несколько источников и методов. Обзор научной, нормативной и отраслевой литературы по ESG-принципам и устойчивому туризму позволил выявить степень проработанности и существующие методологические пробелы. Анализ кейсов внедрения ESG-подходов на основе отчетов туроператоров, региональных администраций, профессиональных объединений и отраслевых форумов дал возможность оценить распространенность и эффективность ESG-инициатив, включая инвестиции в модульные объекты размещения и устойчивую инфраструктуру в компаниях туристического рынка различных регионов.

Использование экспертных оценок, основанных на интервью с представителями компаний и органов регионального управления туризмом, позволило выявить актуальные барьеры, возможности и факторы успеха внедрения ESG-принципов.

Системный подход позволил выделить уровни реализации ESG: национальный, региональный и корпоративный, а также обосновать комплексный характер решений в туризме – от стратегий менеджмента в компаниях до практических рекомендаций для органов власти, направленных на развитие устойчивой и инвестиционно привлекательной туристической инфраструктуры.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

*Принципы ESG подхода применительно к сфере туризма*

Цели концепции устойчивого развития утверждены Генеральной Ассамблеей ООН 25 сентября 2015 г. в «Повестке дня в области устойчивого развития на период до 2030 года». В этот же период был представлен стратегический подход управления бизнесом, известный как ESG (Environment, Social, Governance). ESG представляет собой широкую перспективу, включающую экологическую ответственность, социальную справедливость и эффективное корпоративное управление, которые становятся обязательными элементами развития современного бизнеса.

Сегодня ESG – это не модный тренд, а новая реальность ведения деятельности: от инклюзивности и доступности услуг, до создания экологичной инфраструктуры, внедрения стандартов корпоративной отчетности и заботы о здоровье сотрудников.

В туристской отрасли внедрение ESG-подхода сопровождается рядом системных вызовов. Прежде всего, это отсутствие единых отраслевых стандартов устойчивости, российские стандарты ESG в туризме находятся на стадии формирования, при этом унифицированной системы их внедрения не существует [21]. Это приводит к высокой степени неопределенности при интеграции принципов устойчивого развития в управление: показатели и методы оценки различаются от региона к региону и от бизнеса к бизнесу, что затрудняет стратегическое планирование и мониторинг. Дополнительным барьером становится низкий уровень управленческих компетенций в области устойчивого развития среди представителей отрасли [5].

Во многих компаниях отсутствуют внутренние регламенты и стратегии, а устойчивость воспринимается как имиджевая инициатива, а не как базовый элемент бизнес-модели.

С точки зрения стратегических приоритетов, значительная часть управленческих решений в туристических компаниях все еще подчинена краткосрочным целям – максимизации загрузки и прибыли, что зачастую вступает в противоречие с экологическими и социальными задачами. Так, рост турпотока увеличивает экономические показатели и налоговые поступления, но одновременно усиливает нагрузку на инфраструктуру, экосистемы и местные сообщества [5].

Это формирует противоречивые управленческие ситуации, когда развитие инфраструктуры и сохранение природного наследия требуют согласованного внедрения ESG-подходов и новых бизнес-моделей.

Особое значение в этом контексте приобретают инвестиции в туристическую инфраструктуру, поскольку именно они задают долгосрочные параметры устойчивости отрасли. Одним из перспективных направлений является модульное строительство как часть ESG-стратегии. Модульные гостиницы, кемпинги и визит-центры позволяют быстро развивать инфраструктуру туризма с минимальным воздействием на окружающую среду [15]. Такие решения отличаются энергоэффективностью, возможностью демонтажа или переноса объектов, а также использованием экологичных материалов.

Инвестиции в модульные объекты позволяют сократить нагрузку на экосистемы, повысить доступность туристских услуг и одновременно обеспечить экономическую эффективность проектов. Таким образом, модульное строительство становится примером того, как

инвестиционный подход и ESG-повестка могут быть интегрированы в развитие отрасли.

На уровне отдельных компаний формируется потребность в трансформации моделей управления. Современные управленцы должны обладать компетенциями в области международных стандартов устойчивого развития (ЦУР ООН, ISO 14001, ISSB, UNWTO Guidelines и др.), стратегического планирования с учетом ESG-рисков, а также навыками нефинансовой отчетности и выстраивания диалога с заинтересованными сторонами. Недостаток этих компетенций, особенно в малом и среднем бизнесе, приводит к тому, что устойчивость воспринимается как внешнее требование, а не как стратегическая ценность. В то же время развитие экотуризма, этнотуризма и гастрономических направлений демонстрирует, что именно интеграция ESG-подходов в управление позволяет компаниям не только формировать конкурентные преимущества, но и способствовать сохранению локальной идентичности и устойчивому развитию регионов [21].

ESG-трансформация в туристских компаниях предполагает глубокую перестройку управленческих практик и корпоративных стратегий. На макроуровне ведется работа по стандартизации нефинансовой отчетности, отвечающей рекомендациям Минэкономразвития Российской Федерации, где предприятиям предлагается раскрывать широкий спектр ESG-показателей: политику устойчивого развития, данные об охране труда, вовлеченности сотрудников, экологическом следе и корпоративном управлении.

Крупные игроки рынка – отельные сети и курорты – уже вынуждены интегрировать комплексные ESG-стратегии в свои бизнес-процессы. Так, курорт «Красная Поляна» реализует инициативу Planet 21 – здесь сокращают использование пластика, минимизируют пищевые отходы, внедряют энергосберегающие технологии и закупают продукцию у местных производителей.

Одновременно «Красная Поляна» и «Роза Хутор» публикуют отчеты в соответствии с международными стандартами GRI и следуют дорожным картам по снижению углеродного следа [8].

Масштабность задач привела к развитию нового сегмента консалтинга – социального консалтинга, ориентированного на поддержку бизнеса в ESG-переходе [7].

На уровне операционного менеджмента ESG-интеграция выражается в формировании корпоративной стратегии устойчивого развития, назначении ответственных за ESG-повестку, проведении анализа существенности

(materiality assessment), разработке KPI и системы внутреннего мониторинга. Важно подчеркнуть, что данные процессы требуют вовлеченности первого лица компании и всех сотрудников, поскольку устойчивость не может быть навязана исключительно административными методами – она должна стать частью организационной культуры и корпоративной идентичности. Таким образом, ESG-менеджмент в туризме – это не формальная процедура, а новый управленческий подход, переосмысляющий стратегические приоритеты отрасли.

Существенным элементом ESG-управления является работа с персоналом и формирование этического позиционирования бренда. Компании внедряют регулярные тренинги по экологии, создают конкурсы идей по снижению экологического следа и реализуют социально значимые проекты. Например, в отеле Kazan Palace by Tasigo сотрудники проходят экотренинги, а в публичных пространствах размещается информация о программах устойчивого развития. Практика подтверждает, что кадровая политика должна учитывать приоритетное вовлечение местных сообществ, что снижает зависимость от приезжих работников и способствует социальной устойчивости. Отдельное внимание уделяется борьбе с «зеленым камуфляжем» – декларации экологических инициатив должны подтверждаться независимой сертификацией и отчетностью. Так, первый российский экоотель Cronwell Inn в г. Санкт-Петербурге подтвердил свой статус международным сертификатом «Зеленый ключ». Инструментами оценки и коммуникации ESG-показателей становятся международные сертификации и рейтинги. Все больше российских компаний стремятся к соответствию мировым стандартам. Так, отели «Красной Поляны» получили сертификаты Green Key, а группа TASIGO – Green Globe, подтверждающий соответствие высоким экологическим требованиям [8]. Региональные примеры показывают, что ESG-подход трансформирует и продуктовую составляющую туризма.

В Татарстане создан экологический маршрут «Волжская тропа», охватывающий 26 особо охраняемых территорий и сотни памятников культуры. В г. Санкт-Петербурге развиваются доступные экомаршруты: «Западный Котлин», «Комаровский берег», парк «Сергиевка», а также виртуальные экскурсии для широкой аудитории.

Таким образом, ESG-принципы начинают менять саму структуру туристского предложения: локализацию сервисов, снижение отходов, формирование устойчивых маршрутов и

внедрение практик экопросвещения. Отсутствие унифицированной системы ESG-отчетности затрудняет сопоставимость данных и масштабное внедрение практик в отрасли.

В условиях слабой институциональной базы в России целесообразно использовать зарубежный опыт. Международная инициатива ESG Framework for Tourism Businesses (UN Tourism, Oxford SDG Impact Lab, easyJet holidays) направлена на создание глобальной унифицированной рамки оценки и отчетности ESG-показателей для туристической отрасли [24]. В исследовании приняли участие почти 600 компаний по всему миру, что подтвердило высокий запрос сектора на адаптированные стандарты. Успешность внедрения зависит от готовности бизнеса к обучению, вовлечения персонала и учета региональной специфики.

Следовательно, российскому туризму необходимо формирование национальных стандартов ESG-отчетности, которые позволят интегрировать отрасль в глобальный процесс устойчивого развития [7,18].

Ключевые направления ESG для туристических компаний систематизированы в табл. 1, которая обобщает международный опыт и может служить ориентиром для формирования отраслевых практик нефинансовой отчетности. Составлено по материалам [7].

Проведенный нами анализ российских управленческих реалий в туристическом секторе позволяет сформулировать ключевые барьеры ESG-трансформации – фрагментарность подходов, недостаток стандартов, дефицит компетенций и ресурсов, особенно у малых и средних предприятий.

**Таблица 1.** Важнейшие аспекты ESG-подхода для туристических компаний  
**Table 1.** The most important aspects of the ESG approach for travel companies

Environmental (Экологические)	Social (Социальные)	Governance (Управленческие)
Изменение климата и выбросы парниковых газов Влияние на биоразнообразие Использование водных ресурсов Обращение с отходами и вторичная переработка Энергопотребление Качество воздуха Освоение территорий и деградация природных ландшафтов	Свобода объединений и профсоюзов Детский труд Принудительный и обязательный труд Здоровье и безопасность на рабочем месте Недопущение дискриминации, разнообразие и равные возможности	Требования к отчетности Управление рисками Этические кодексы и принципы ведения бизнеса Прозрачность и раскрытие информации Противодействие коррупции Права акционеров

Международная практика демонстрирует, что устойчивое развитие в туризме возможно при условии четкого пошагового подхода, вовлекающего как внутренние ресурсы компании, так и внешние стейкхолдеры.

*Модульное строительство – инвестиции в инфраструктуру туризма, отвечающие ESG-концепции*

Развитие туристической инфраструктуры в условиях ESG-повестки невозможно без поиска форм, сочетающих экологичность, социальную значимость и экономическую эффективность.

В этом контексте модульное строительство становится одним из наиболее привлекательных инвестиционных направлений. Модульные некапитальные средства размещения – это быстровозводимые конструкции заводского производства (в том числе контейнерного типа или глэмпинги), оборудованные для круглогодичного комфортного пребывания туристов. Их

ключевое преимущество, с инвестиционной точки зрения, относительно низкий порог входа и быстрый срок окупаемости по сравнению с традиционными капитальными отелями. Такие проекты отвечают сразу нескольким задачам ESG. С экологической стороны – минимальное вмешательство в природный ландшафт и возможность демонтажа без ущерба для экосистемы. С социальной – создание рабочих мест и развитие территорий, где строительство капитальных объектов затруднено. С экономической – высокая рентабельность, государственная поддержка снижает финансовую нагрузку, а спрос на формат быстрого комфорта в природных локациях стабильно растет. В федеральном проекте «Создание номерного фонда, инфраструктуры и новых точек притяжения», входящем в национальный проект «Туризм и гостеприимство», предусмотрено субсидирование бизнеса на финансовое обеспечение или возмещение затрат по приобретению и

монтажу модульных некапитальных коллективных средств размещения. На 2025–2027 гг. выделено 15 млрд руб., субсидируются затраты до 1,5 млн руб. на один номер (но не более 50 % стоимости проекта). Только в 2024 г. на создание модульных средств размещения было выделено более 8 млрд руб., что подтверждает стратегическую значимость направления. Это означает, что государство напрямую участвует в снижении инвестиционных рисков строительства модульных отелей, обеспечивая дополнительную устойчивость бизнес-модели.

Важно подчеркнуть, что речь идет не просто о возведении отдельных объектов. Инвестиционный проект включает комплекс мероприятий: электроснабжение, водоснабжение, водоотведение, благоустройство территории. Таким образом, модульное строительство формирует полноценный сегмент туристической инфраструктуры и становится точкой роста для инвестиций.

Быстрая сборка, гибкая эксплуатация и экологическая нейтральность превращают модульные средства размещения в инструмент, одновременно отвечающий целям устойчивого развития и интересам инвесторов. В условиях увеличения спроса на экотуризм и приключенческие форматы отдыха именно такие проекты становятся примером того, как ESG-подход может приносить не только общественные, но и конкретные экономические выгоды.

Модульные средства размещения особенно актуальны на землях с особыми статусами, в том числе на особо охраняемых природных территориях и землях Прибайкальского национального парка.

В Иркутской области в 2022 г. из федерального бюджета региону была предоставлена субсидия в размере 341,5 млн руб. для строительства 10 модульных отелей. В 2023–2024 гг. с учетом областного софинансирования на поддержку и развитие туризма было выделено 252 млн руб. на создание 170 новых гостиничных номеров.

На субсидии Минэкономразвития в 2023 г. планировалось строительство 10 модульных отелей, в 2024 г. – 15 модульных отелей [12], на строительство модульных некапитальных построек для размещения туристов и создании комфортных условий для отдыха, всего 280 модульных номеров.

В 2023–2024 гг. было увеличен размер субсидий до 602 млн руб., на возведение 477 номеров в 19 проектах. По состоянию на 31 декабря 2024 г. было реализовано 15. Возврат субсидий произошел по четырем проектам – наиболее емким и дорогим. Вместо 600 млн на

577 было реализовано 400 млн на 377 модулей.

В 2025 г. агентство по туризму в Иркутской области объявило единый конкурсный отбор на 2025–2027 гг. по государственной поддержке в форме субсидий на создание модульных средств размещения, на который на 1 апреля было подано 60 заявок.

Требуется анализ причин невыполнения программ и проблем развития сферы модульных средств размещения в туризме. Для этого обратимся к трендам туризма в середине 20-х гг. текущего века.

В мире в этот период, а с 2016 г. и в России, началось развитие коллективных форм размещения в виде глэмпингов, поддержанное федеральными проектами. Глэмпинги – коллективные средства размещения, обеспечивающие комфортное благоустроенное проживание на природе. При своем появлении они имели самую разную форму – шатров, куполов, А-фреймов, домиков на деревьях и т.д. [12] Это породило большую неопределенность по поводу того, что можно отнести к глэмпингам.

Главное – наличие благоустройства: воды, тепла, электричества, сантехнических услуг. На развитие глэмпингов в туризме выделялись значительные средства в виде грантов и субсидий. Российский союз туризма сообщал в 2024 г., что «Росстат пока не научился считать глэмпинги. Но если мы говорим про те объекты, которые сами себя так определяют, то их порядка 700, а вместе с кемпингами – порядка 1000 по России». Взрывной рост наблюдался после пандемии, когда количество глэмпингов ежегодно удваивалось [12]. Параллельно с глэмпингами в туристскую инфраструктуру все чаще стали встраиваться модульные конструкции, пионерами здесь были китайские производители предлагавшие модульные отели, в том числе на экспорт. Российские производители за последние три года также начали производить модульные конструкции для сферы туризма. В то же время до 2025 г. существовала законодательная неопределенность в понятии глэмпингов и модульных средств коллективного размещения, что позволяло отнести к глэмпингам как модульные сооружения, изготовленные заводским образом, так и индивидуально построенные сооружения некапитального характера различной формы (домики, сферы, купола, юрты и др.). С 1 января 2025 г. к глэмпингам отнесли только модульные средства размещения, изготовленные заводским путем, что сделало более прозрачным критерии финансовой поддержки строительства глэмпингов и их соотношение с понятием модульных отелей. Согласно новой редакции закона

«Об основах туристской деятельности» под модульными отелями понимаются огороженные территории с контролируемым доступом и расположенными на них некапитальными строениями, где предоставляют услуги временного размещения и обеспечения временного проживания, то есть места для сна и отдыха, а также оказывают другие дополнительные услуги в сфере туризма [21]. Однако, что такое модульный отель из этого определения не очень понятно. Модульные средства заводского производства включают не только каркас и утепленные стены, внутри него монтируются инженерные сети и мебель. Для установки модульных средств не требуется разрешение на строительство и ввод в эксплуатацию, что значительно сокращает время и финансовые вложения. Выделим проблемы развития модульных средств размещения и глэмпинг-индустрии, характерные для отрасли в целом и, в частности, для Иркутской области. Проблемой является отсутствие законодательно определенных ГОСТов для модульных средств размещения и глэмпингов. Введение ГОСТов важно и для получения финансовой поддержки, и для продвижения объектов. Модульные отели и глэмпинги в условиях сурового климата требуют особого внимания к энергоснабжению объектов. Поддерживать на электрогенераторах и паллетах комфортную температуру в модульных средствах размещения при низких температурах затруднительно и очень дорого. Отсюда – высокая стоимость размещения и недовольство гостей холодом в помещении. В Иркутской области строительство модульных отелей ограничивается нехваткой энергетических мощностей и дороговизной подключения к электросетям, длительным ожиданием подключения к электросетям, из-за чего невозможно сдать в срок средства размещения. Неудобным и долгим является процесс внесения в единый реестр средств размещения. Экологическая экспертиза проекта, проводимая в Минприроды в г. Москве, длится шесть месяцев. Ограничения природоохранного законодательства не дают увеличивать количество номеров, не позволяет строить дороги, линии электропередач, канализационно-очистные сооружения (КОС), водопроводы на многих природных территориях. Отсутствия КОС и полигонов для твердых бытовых отходов (ТБО) связано с высокими затратами владельцев турбаз на вывоз ТБО на дальние расстояния. В связи с сокращением бюджетных средств на строительство дорог, приоритет будет отдан проектам модульных средств размещения при близости к транспортным путям. В то время как

исследования подтверждают, что путешественников все сильнее привлекают приключения [12], осмотр природных объектов и удаленных территорий, сплавы, хайкинг и другие виды активного отдыха на природе, спрос на которых в последние года вырос в пять раз больше, чем вырос весь внутренний туристский поток [25].

Таким образом, в развитии модульного строительства для сферы туризма существует ряд проблем, решение которых требует совместных действий федеральных и региональных органов управления и бизнеса, при решении которых наиболее эффективными средствами размещения могут стать наиболее развивающимся направлением туризма, создать новые рабочие места и, самое главное, сохранить уникальную и неповторимую природу о. Байкала и Восточной Сибири.

#### *Трансформация модели управления туристской компанией на основе ESG-подхода*

Инвестиции в устойчивую инфраструктуру и новые форматы туристских объектов имеют смысл лишь тогда, когда сами компании выстраивают управление в соответствии с ESG-подходом. Иными словами, «зеленые» здания и модульные гостиницы не обеспечат устойчивости бизнеса без внутренней управленческой трансформации. В качестве методологической основы такого преобразования можно использовать пятиэтапную модель ESG-трансформации управления (адаптированную нами из модели [24] к условиям туристского бизнеса) (рисунок).

Представим последовательность управленческих задач, реализация которых позволяет начать внедрение ESG-принципов в компании туристского рынка.

1. Определение желаемого образа компании в контексте ESG-подхода. На этом этапе формируется представление об ESG-принципах применительно к бизнесу компании: какие экологические, социальные и управленческие аспекты необходимо реализовать, чтобы соответствовать ESG-подходу? Например, сохранение природных маршрутов, вовлечение местных сообществ, повышение прозрачности управления, забота о социальном и психологическом состоянии сотрудников. Важно, чтобы это понимание было разделено ключевыми стейкхолдерами: владельцами, топ-менеджерами, сотрудниками, локальными партнерами.

2. Анализ туристского рынка и компаний-конкурентов в бизнесе. Сколько компаний работает на рынке, насколько реализован ESG-подход в компаниях конкурентов? Насколько

компания соответствует ESG-повестке? Какие устойчивые практики уже есть (например, работа с местными поставщиками, экологичные форматы туров, благотворительные инициативы)?

Оценка сравнительной конкурентоспособности компании относительно конкурентов по указанным направлениям. Каков спрос на «зеленые» маршруты, аутентичные форматы отдыха, имеется ли стремление к осознанному потреблению? Используемые методы – интервью с клиентами, партнерами, сотрудниками, бенчмаркинг.

3. Формулировка цели и разработка плана действий. Определение приоритетных задач от простых шагов (например, внедрение сортировки отходов в турофисе) до среднесрочных целей (например, перевести половину туров в «экологичный» формат). Определение параметров целей и доведение до сведения стейкхолдеров. Назначение дат и ответственных за мероприятия. Даже если компания небольшая,

нужен человек, отвечающий за ESG-трансформацию. Внутри компании можно создать рабочую группу или определить «послов устойчивости» – людей, заинтересованных в теме и готовых вести за собой. Если ресурсов недостаточно, часть задач можно вынести на аутсорсинг или привлечь экспертов в рамках образовательных программ.

4. Реализация плана и оценка прогресса в достижении целей. Следует начинать с инициатив, которые видны и имеют значение для клиентов: «зеленые» туры, партнерства с локальными некоммерческими организациями, отказ от одноразового пластика, социальные улучшения для работников компании (внутренние клиенты). Параллельно надо выстраивать систему оценки в виде чек-листов, внутренних отчетов, отзывов и обращений от клиентов. Периодически следует пересматривать цели и подходы в соответствии с изменением потребностей туристов и изменений в команде менеджмента, нововведениями в отрасли.



**Этапы ESG-трансформации компании туристского рынка**  
*Stages of the ESG transformation of the tourism market company*

Этот пошаговый подход позволит менеджменту встроить ESG в логику бизнес-модели компании осознанно и с учетом реалий туристического сектора. Приведем примеры конкретных ESG-практик для компаний туристского рынка по трем направлениям: экологические, социальные и управленческие инициативы, которые можно реализовывать постепенно и адаптировать под масштаб и специфику компании [24].

**Экологические инициативы**

Раздельный сбор отходов на территории объекта размещения (бумага, пластик, стекло, батарейки) с последующей переработкой.

При отсутствии возможностей отдельной переработки инициатива не имеет смысла. Переход на биоразлагаемые моющие средства и упаковку. Использование дозаторов вместо индивидуальных пластиковых флаконов. Установка экономических сантехнических приборов:

азраторы, смесители с пониженным расходом воды, системы повторного использования сточных вод. Перевод освещения на LED-лампы, внедрение датчиков движения и автоматического отключения света и кондиционеров. Установка солнечных панелей или подключение к "зеленому" тарифу. При планировании инфраструктуры отказ от освоения охраняемых территорий, сохранение природных ландшафтов, использование местных растений в озеленении. Разработка политики по минимизации углеродного следа: компенсация выбросов, посадка деревьев, участие в климатических инициативах.

#### *Социальные инициативы*

Равный доступ к вакансиям в фирме, обеспечение гендерного и возрастного разнообразия, привлечение людей с ограниченными возможностями здоровья. Ведение политики нулевой толерантности к детскому и принудительному труду. Подписанный соответствующий внутренний кодекс.

Обучение сотрудников по стандартам безопасности труда, профилактике выгорания, уважительному взаимодействию. Поддержка локальных поставщиков: закупка продукции у местных фермеров и ремесленников, предлагать местные сувениры.

Включение местных жителей в культурную программу: экскурсии, мастер-классы и др. Участие в жизни сообществ: поддержка школ, инициатив по сохранению культурного наследия, экологические акции. Создание профсоюзов или альтернативных форм обратной связи от персонала. Обеспечение инфраструктурной доступности для гостей с инвалидностью (пандусы, тактильные указатели, адаптированные номера).

#### *Управленческие инициативы*

Введение позиции ответственного за устойчивое развитие в управленческой команде. Внедрение KPI по ESG. Разработка и публикация этического кодекса и ESG-политики.

Ведение публичной нефинансовой отчетности: стандарт общественного капитала бизнеса, участие в ESG-рейтингах, открытые данные. Обучение команды принципам ответственного бизнеса, основам антикоррупционной политики, правам работников. Регулярная оценка ESG-рисков (климатических, кадровых, правовых) и включение их в стратегическое планирование. Гарантия прозрачности маркетинга: в рекламных материалах и на сайте указывать реальные устойчивые практики. Обеспечение соблюдения всех применимых экологических, трудовых и финансовых норм, прохождение независимых аудитов.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Внедрение ESG-подходов в туризме – это системная трансформация, затрагивающая стратегию, операционную деятельность и корпоративную культуру. ESG становится новой управленческой рамкой, встраивающей устойчивость в основу бизнес-модели туристских компаний – от проектирования инфраструктуры и продуктов до работы с территориями, сообществами и инвесторами.

Результаты проведенного исследования подтверждают, что одним из наиболее перспективных направлений ESG-инвестиций в туризме является развитие модульного строительства. Эти решения сочетают экологичность (минимальное вмешательство в природный ландшафт, низкий углеродный след), социальную значимость (создание рабочих мест и развитие регионов с ограниченной инфраструктурой) и экономическую эффективность (снижение порога входа и быстрый срок окупаемости). Более того, федеральные меры поддержки дополнительно укрепляют инвестиционную привлекательность данного сегмента и делают модульные средства размещения не только инструментом устойчивого развития, но и новым инвестиционным продуктом, обеспечивающим синергию интересов государства, бизнеса и общества.

Развитие модульных средств размещения требует согласованных действий федеральных и региональных органов управления и бизнеса. Исследование показало, что успешная ESG-трансформация невозможна без клиентоцентричности.

Туристы становятся ключевыми стейкхолдерами, которые оценивают не только комфорт и сервис, но и экологичность, социальную ответственность, этичность компании. Их удовлетворенность и лояльность напрямую зависят от качества внедренных устойчивых практик – от «зеленых» маршрутов и активных видов отдыха на природе до поддержки местных сообществ. Клиент становится индикатором устойчивости бизнеса.

Таким образом, перспективы ESG в туризме напрямую связаны с системностью и интеграцией на двух уровнях. На государственном требуется нормативная база, поддержка отраслевых стандартов и стимулирование устойчивых инвестиций, включая развитие модульной инфраструктуры. На корпоративном необходима включенность управленческих команд, внедрение инструментов оценки и прозрачной отчетности, а также развитие компетенций, позволяющих сочетать клиентоцентричность с принципами устойчивости.

Только при наличии долгосрочной стратегии, ориентированной на баланс интересов бизнеса, общества и экосистем, туризм может стать не просто быстрорастущей отраслью, а драйвером ответственного развития террито-

рий. Модульное строительство в этом контексте выступает показателем того, что ESG-инвестиции способны приносить реальную экономическую отдачу, формируя новые стандарты качества туристической среды.

**СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Войнова Я.А., Мишулина С.И. ESG трансформация как инструмент управления устойчивым развитием туризма // Российские регионы: взгляд в будущее. 2024. Т. 11. № 3-4. С. 34–51. EDN: INWWWJG.
2. Витковская Н.Г., Ухина Т.В., Саркисов Л.С. Развитие туризма под влиянием принципов ESG // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. 2024. № 4. С. 196–200. <https://doi.org/10.23672/SAE.2024.4.4.008>. EDN: NYFNRC.
3. Бриль Г., Келл Г., Раше А. Устойчивое инвестирование: навигатор по миру ESG. М.: Альпина PRO, 2024. 576 с.
4. Галазова С.С. Влияние ESG-факторов на устойчивое развитие компаний и финансовую результативность корпоративного сектора // Вестник Ростовского государственного экономического университета (РИНХ). 2018. № 4. С. 81–86. EDN: LFGNUH.
5. Калюжнова Н.Я., Кошурникова Ю.Е. Изменение парадигмы управления компанией в индустрии гостеприимства и туризма в экономике трансформаций // Индустрия гостеприимства и туризма: современные вызовы и решения. Материалы Междунар. науч.-практ. конф. (г. Иркутск, 09–10 апреля 2025 г.). Иркутск, 2025. С. 78–84. EDN: WYOPCD.
6. Калюжнова Н.Я., Лидин К.Л., Шарафутдинов В.Н. Образ России как фактор туристической конкурентоспособности: монография. Иркутск: Изд.-во Иркутского государственного университета, 2012. 216 с. EDN: RSLTAT.
7. Калюжнова Н.Я., Ширококолобова Г.В. Особенности и проблемы развития глэмпингов в Иркутской области // Вестник факультета бизнес-коммуникации и информатики Иркутского государственного университета. Иркутск: ООО «ЦентрНаучСервис», 2023. С. 65–79. EDN: CBTLWC.
8. Кошурникова Ю.Е. Туриология. Первые шаги в профессии мечты. М.: Литрес, 2025. 130 с.
9. Матвеева М.В., Пешков В.В., Козьма М.В. Оценка рисков и возможностей, связанных с ESG-факторами в инвестиционно-строительных проектах // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 3. С. 474–486. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-474-486>. EDN: ZKPGWN.
10. Морозов М.А., Ковальчук А.П. Направления ESG-трансформации бизнес-процессов в индустрии гостеприимства // Горизонты экономики. 2023. № 3. С. 58–65. EDN: YWVKCI.
11. Каз Е.М., Краковецкая И.В., Нехода Е.В., Редчикова Н.А. Бизнес-модели компаний и устойчивое развитие. Томск: Национальный исследовательский Томский государственный университет, 2020. 214 с. EDN: HVXEPN.
12. Рубанова Н.И., Рассохина Т.В., Саар В.С., Шагаров Л.М. Проблемы внедрения принципов устойчивого развития и концептов «зеленой» экономики в гостиничных предприятиях Российской Федерации // Вестник РМАТ. 2023. № 2. С. 11–20. EDN: FNKYU.
13. Голубев А.П. Социально ответственные инвестиции в зарубежной практике применения // Инновации и инвестиции. 2018. № 6. С. 37–41. EDN: CGITKJ.
14. Ерохина Т.Б., Хакимова М.Д. Концепция устойчивого роста (ESG) как инструмент для привлечения инвесторов // Вестник Ростовского государственного экономического университета (РИНХ). 2022. № 1. С. 29–34. <https://doi.org/10.54220/v.rsue.1991-0533.2022.90.65.003>. EDN: FINWDZ.
15. Львова Н.А. Ответственные инвестиции: теория, практика и перспективы для Российской Федерации // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия Экономика и экологический менеджмент. 2019. № 3. С. 56–67. <https://doi.org/10.17586/2310-1172-2019-12-3-56-67>. EDN: RQWXWY.
16. Брче М.А., Омельченко И.Н., Шааб А. Устойчивое развитие: механизмы реализации. М.: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), 2020. 172 с. EDN: CLXDRL.
17. Свиридов Д. Устойчивый туризм: каким образом ESG меняет индустрию путешествий // РБК. Тренды. 2022. Режим доступа: <https://trends.rbc.ru/trends/green/6304d1ab9a7947265b31deec> (дата обращения: 21.06.2025).
18. Старикова Е.А. Реализация ESG-повестки в деятельности МСП в России // Экономика и управление: проблемы, решения. 2024. Т. 4. № 5. С. 107–115. <https://doi.org/10.36871/ek.up.p.r.2024.05.04.015>. EDN: LPQXOK.

19. Старков Р.Ф., Цыдендамбаева А.Б. Жизнь без полиэтиленовых пакетов // Байкальская наука: идеи, инновации, инвестиции. Иркутск: Изд.-во Иркутского национального исследовательского технического университета, 2019. С. 20–25. EDN: OQDFBH.
20. Петренко Л.Д. ESG-критерии в практике принятия инвестиционных решений // Международный научно-исследовательский журнал. 2020. № 11-2. С. 100–102. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.101.11.050>. EDN: LZONTB.
21. Полюшко Ю. Бизнес-процессы в гостинице. Екатеринбург: Издательские решения, 2024. 170 с.
22. Шаронов А., Дубовицкая Е. Устойчивое развитие. Как обеспечивать рост бизнеса и создавать долгосрочные ценности. М.: МИФ, 2025. 292 с.
23. Legendre T.S., Ding A., Ki-Joon Back A Bibliometric Analysis of the Hospitality and Tourism Environmental, Social, and Governance (ESG) Literature // Journal of Hospitality and Tourism Management. 2024. Vol. 58. P. 309–321. <https://doi.org/10.1016/j.jhtm.2024.01.003>.
24. Агекян А. Гений места: как альянс власти, бизнеса и сообщества меняет города. М.: Альпина PRO, 2025. 240 с.
25. Агиева М.Т., Белявский Г.И., Горбанёва О.И., Данилова Н.В., Землякова И.А., Королёв А.В. и др. Теория управления устойчивым развитием активных систем: модели и приложения. Монография. Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2024. 330 с. EDN: AUTNIN.

## REFERENCES

1. Voinova Ya.A., Mishulina S.I. ESG Transformation as a Tool for Managing Sustainable Tourism Development. *Russian Regions: Looking Into the Future*. 2024;11(3-4):34-51. (In Russ.). EDN: INWWJG.
2. Vitkovskaya N.G., Ukhina T.V., Sarkisov L.S. Tourism Development Influenced By ESG Principles. *Humanities, Social-Economic and Social Sciences*. 2024;4:196-200. (In Russ.). <https://doi.org/10.23672/SAE.2024.4.4.008>. EDN: NYFNRC.
3. Bril G., Kell G., Rashe A. *Sustainable Investing: A Navigator Through the World of ESG*. Moscow: Alpina PRO, 2024. 576 p. (In Russ.).
4. Galazova S.S. Influence of ESG-Factors on Sustainable Development of Companies and Financial Performance of Corporate Sector. *Vestnik of Rostov state University (RINH)*. 2018;4:81-86. (In Russ.). EDN: LFGNUH.
5. Kalyuzhnova N.Ya., Koshurnikova Yu.E. Changing the Paradigm of Company Management in the Hospitality and Tourism Industry in the Transformation Economy. In: *Industriya gostepriimstva i turizma: sovremennye vyzovy i resheniya. Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Hospitality and Tourism Industry: Current Challenges and Solutions. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. 09–10 April 2025, Irkutsk. Irkutsk; 2025. P. 78–84. (In Russ.). EDN: WYOPCD.
6. Kalyuzhnova N.Ya., Lidin K.L., Sharafutdinov V.N. *The Image of Russia as a Factor in Tourism Competitiveness: Monograph*. Irkutsk: Irkutsk State University Press, 2012. 216 p. (In Russ.). EDN: RSLTAT.
7. Kalyuzhnova N.Ya., Shirokolobova G.V. Main Features and Problems in the Development of Glampings in the Irkutsk Region. In: *Bulletin of the Faculty of Business Communications and Informatics of Irkutsk State University*. Irkutsk: ООО "TsentrNauchServis", 2023. P. 65–79. (In Russ.). EDN: CBTLWC.
8. Koshurnikova Yu.E. *Turology. First Steps in Your Dream Profession*. Moscow: Litres, 2025. 130 p. (In Russ.).
9. Matveeva M.V., Peshkov V.V., Kozma M.V. Assessing Risks and Opportunities Associated with ESG Factors in Investment Projects. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(3):474-486. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-474-486>. EDN: ZKPGWH.
10. Morozov M.A., Kovalchuk A.P. Directions of ESG-Transformation of Business Processes In the Hospitality Industry. *Horizonty ehkonomiki*. 2023;3:58-65. (In Russ.). EDN: YWVKCI.
11. Kaz E.M., Krakovetskaya I.V., Nekhoda E.V., Redchikova N.A. *Business Models of Companies and Sustainable Development*. Tomsk: National Research Tomsk State University, 2020. 214 p. (In Russ.). EDN: HVXEPN.
12. Rubanova N.I., Rassokhina T.V., Saar V.S., Shagarov L.M. Problems of Implementation of the Principles of Sustainable Development and Concepts of Green Economy in the Hotel Enterprises of the Russian Federations. *Vestnik RMAT*. 2023;2:11-20. (In Russ.). EDN: FNKYU.
13. Golubev A.P. Socially Responsible Investments in Foreign Practice. *Innovation & Investment*. 2018;6:37-41. (In Russ.). EDN: CGITKJ.
14. Erokhina T.B., Khakimova M.D. Concept of Sustainable Growth (ESG) As a Tool for Attracting Investors. *Vestnik of Rostov state University (RINH)*. 2022;1:29-34. (In Russ.). <https://doi.org/10.54220/v.rsue.1991-0533.2022.90.65.003>. EDN: FINWDZ.
15. Lvova N.A. Responsible Investments: Theory, Practice, Prospects for the Russian Federation. *Scientific Journal NRU ITMO. Series Economics and Environmental Management*. 2019;3:56-67. (In Russ.). <https://doi.org/10.17586/2310-1172-2019-12-3-56-67>. EDN: RQWXWY.

16. Brche M.A., Omelchenko I.N., Shaab A. *Sustainable Development: Implementation Mechanisms*. Moscow: Bauman Moscow State Technical University (National Research University), 2020. 172 p. (In Russ.). EDN: CLXDRL.
17. Sviridov D. Sustainable Tourism: How ESG is Changing the Travel Industry. *RBC. Trends*. 2022. Available from: <https://trends.rbc.ru/trends/green/6304d1ab9a7947265b31deec> [Accessed 21 June 2025]. (In Russ.).
18. Starikova E.A. Implementation of the ESG Agenda in the Activities of SMES in Russia. *Economics and Management: Problems, Solutions*. 2024;4(5):107-115. (In Russ.). <https://doi.org/10.36871/ek.up.p.r.2024.05.04.015>. EDN: LPQXOK.
19. Starkov R.F., Tsydendambaeva A.B. Life without Plastic Bags. In: *Baikal Science: Ideas, Innovations, Investments*. Irkutsk: Publishing house of Irkutsk National Research Technical University, 2019. P. 20–25. (In Russ.). EDN: OQDFBH.
20. Petrenko L.D. ESG-Criteria in the Investment Decision-Making Practice. *International Research Journal*. 2020;11-2:100-102. (In Russ.). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.101.11.050>. EDN: LZONTB.
21. Polyushko Yu. *Business Processes in a Hotel*. Ekaterinburg: Publishing Solutions, 2024. 170 p. (In Russ.).
22. Sharonov A., Dubovitskaya E. *Sustainable Development. How to Ensure Business Growth and Create Long-Term Value*. Moscow: MIF, 2025. 292 p. (In Russ.).
23. Legendre T.S., Ding A., Ki-Joon Back A Bibliometric Analysis of the Hospitality and Tourism Environmental, Social, and Governance (ESG) Literature. *Journal of Hospitality and Tourism Management*. 2024;58:309-321. <https://doi.org/10.1016/j.jhtm.2024.01.003>.
24. Agekyan A. *Genius Loci: How the Alliance of Government, Business, and Community Transforms Cities*. Moscow: Alpina PRO, 2025. 240 p. (In Russ.).
25. Agieva M.T., Belyavskii G.I., Gorbaneva O.I., Danilova N.V., Zemlyakova I.A., Korolev A.V. et al. *Theory of Sustainable Development Management of Active Systems: Models and Applications. Monograph*. Rostov-on-Don: Southern Federal University, 2024. 330 p. (In Russ.). EDN: AUTNIN.

**Информация об авторах**

**Information about the authors**

**Калюжнова Надежда Яковлевна**,  
д.э.н., профессор, заведующий кафедрой  
экономической теории и управления,  
Иркутский государственный университет,  
664003, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, 1, Россия,  
✉e-mail: 2010nyk@mail.ru  
Author ID: 149704

**Nadezhda Ya. Kalyuzhnova**,  
Dr. Sci. (Econ.), Professor, Head of the Department  
of Economic Theory and Management,  
Irkutsk State University,  
1 Karl Marx St., Irkutsk 664003, Russia,  
e-mail: 2010nyk@mail.ru  
Author ID: 149704

**Кошурникова Юлия Евгеньевна**,  
директор,  
ООО «Байкальская радуга»,  
665932, г. Байкальск, мкр. Гагарина, д. 218,  
Россия,  
e-mail: jk\_irk@mail.ru

**Yulia E. Koshurnikova**,  
Director,  
LLC Baikal Rainbow,  
218 Gagarin Microdistrict, Baikalsk 665932,  
Russia,  
e-mail: jk\_irk@mail.ru

**Широколобова Галина Владимировна**,  
директор,  
ООО «Цифровая лаборатория»,  
664000, п. Новолисиха, ул. Славянская, 4,  
Россия,  
e-mail: gall@list.ru

**Galina V. Shirokolobova**,  
Director,  
LLC *Digital Laboratory*,  
4 Slavyanskaya St., Novolisikha settlement 664000,  
Russia,  
e-mail: gall@list.ru

**Вклад авторов**

**Contribution of the authors**

Все авторы сделали эквивалентный вклад  
в подготовку публикации.

The authors contributed equally to this article.

**Конфликт интересов**

**Conflict of interests**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта  
интересов.

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 24.06.2025.  
Одобрена после рецензирования 25.07.2025.  
Принята к публикации 07.08.2025.

#### **Information about the article**

The article was submitted 24.06.2025.  
Approved after reviewing 25.07.2025.  
Accepted for publication 07.08.2025.



## ESG-риски цепочек поставок в строительстве и их влияние на социально-экономическое развитие регионов Сибири

В.В. Пешков<sup>1</sup>, М.В. Козьма<sup>2✉</sup>, К.А. Комаров<sup>3</sup>, В.В. Рудских<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup>Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

<sup>4</sup>Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

**Аннотация:** Строительная отрасль характеризуется сложной структурой цепочек поставок, включающих множество участников от добычи сырья до финальной реализации проектов. Указанное особенно актуально для регионов Сибири и Дальнего Востока, оказывая влияние на их социально-экономическое развитие. Современные требования устойчивого развития обуславливают необходимость интеграции ESG-принципов в управление поставками строительных материалов и услуг. Актуальность исследования определяется возрастающим давлением со стороны регуляторов, инвесторов и общественности на компании строительного сектора в части обеспечения экологической безопасности, социальной ответственности и надлежащего корпоративного управления в цепочках создания стоимости. Цель работы заключается в систематизации основных ESG-рисков цепочек поставок строительной отрасли и разработке подходов к их идентификации и минимизации. В рамках исследования применены методы системного анализа, экспертных оценок и сравнительного анализа практик управления рисками в российских и зарубежных строительных компаниях. Проведена классификация ESG-рисков по трем основным направлениям с выделением специфических факторов, характерных для строительных цепочек поставок. Результаты показывают, что наибольшую значимость для строительных компаний представляют экологические риски, связанные с углеродным следом материалов, социальные риски нарушения трудовых прав в субподрядных организациях и риски управления, обусловленные недостаточной прозрачностью поставщиков. Практическая значимость работы состоит в формировании методических рекомендаций по построению системы мониторинга ESG-рисков в цепочках поставок строительных организаций, что позволит повысить устойчивость бизнеса и его инвестиционную привлекательность.

**Ключевые слова:** социально-экономическое развитие, строительство, регионы Сибири, ESG-риски, цепочки поставок, инвестиции, устойчивое развитие, экологическая безопасность, социальная ответственность

**Для цитирования:** Пешков В.В., Козьма М.В., Комаров К.А., Рудских В.В. ESG-риски цепочек поставок в строительстве и их влияние на социально-экономическое развитие регионов Сибири // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 4. С. 635–645. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-4-635-645>. EDN: OUBXPC.

Original article

## ESG-risks of supply chains in construction and their impact on the socio-economic development of Siberian regions

Vitaly.V. Peshkov<sup>1</sup>, Maria.V. Kozma<sup>2✉</sup>, Konstantin A. Komarov<sup>3</sup>, Valeria V. Rudskikh<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup>Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

<sup>4</sup>Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

**Abstract.** The construction industry is characterized by a complex structure of supply chains, which include many participants from the extraction of raw materials to the final implementation of projects. This is especially relevant for the regions of Siberia and the Far East, influencing their socio-economic development. Modern requirements of sustainable development require the integration of ESG principles into

the supply management of building materials and services. The relevance of the study is determined by the increasing pressure from regulators, investors and the public on companies in the construction sector in terms of ensuring environmental safety, social responsibility and proper corporate governance in value chains. The aim of the work is to systematize the main ESG risks of the construction industry supply chains and develop approaches to their identification and minimization. The research uses methods of system analysis, expert assessments, and comparative analysis of risk management practices in Russian and foreign construction companies. The classification of ESG risks into three main areas has been carried out, highlighting specific factors characteristic of construction supply chains. The results show that the most important for construction companies are the environmental risks associated with the carbon footprint of materials, the social risks of labor rights violations in subcontractors, and the management risks caused by the lack of transparency of suppliers. The practical significance of the work consists in the formation of methodological recommendations for building an ESG risk monitoring system in the supply chains of construction organizations, which will increase the sustainability of the business and its investment attractiveness.

**Keywords:** socio-economic development, construction, Siberian regions, ESG risks, supply chains, investments, sustainable development, environmental safety, social responsibility

**For citation:** Peshkov V.V., Kozma M.V., Komarov K.A., Rudskikh V.V. ESG-risks of supply chains in construction and their impact on the socio-economic development of Siberian regions. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2025;15(4):635-645. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-4-635-645>. EDN: OUBXPC.

## ВВЕДЕНИЕ

Строительная индустрия занимает значительное место в глобальной экономике, обеспечивая создание инфраструктуры и жилого фонда, необходимого для социально-экономического развития и функционирования общества в целом. По данным Росстата, вклад строительства в ВВП Российской Федерации в 2023 г. составил 6,2 %, при этом в отрасли было занято более 6,5 млн чел [1]. Специфика строительного производства предполагает формирование разветвленных цепочек поставок, охватывающих десятки и сотни контрагентов – от производителей цемента и металлоконструкций до поставщиков электротехнического оборудования и отделочных материалов.

Концепция ESG получила широкое распространение в международной практике корпоративного управления, начиная с 2000-х г., когда институциональные инвесторы стали учитывать нефинансовые факторы при принятии инвестиционных решений [9]. Термин ESG объединяет три ключевых направления оценки деятельности компаний: экологическое (Environmental), социальное (Social) и управленческое (Governance). Банк России в 2023 г. утвердил рекомендации по раскрытию публичными акционерными обществами нефинансовой информации, связанной с деятельностью таких обществ, что свидетельствует о признании значимости ESG-факторов на государственном уровне.

Строительные компании сталкиваются с множественными вызовами при внедрении

ESG-принципов, поскольку их деятельность характеризуется высоким потреблением ресурсов, значительным воздействием на окружающую среду и вовлечением большого числа работников различных квалификаций. Цепочки поставок в строительстве отличаются многоуровневой структурой, где головной подрядчик взаимодействует с генеральными поставщиками, те – с субподрядчиками второго и третьего уровня, что создает сложности в обеспечении прозрачности и контроля соблюдения ESG-стандартов на всех этапах.

Цель настоящего исследования состоит в выявлении и систематизации основных ESG-рисков, присущих цепочкам поставок строительных организаций, а также в разработке практических подходов к их управлению и минимизации.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ структуры цепочек поставок в строительной отрасли с выделением критических звеньев с точки зрения ESG-воздействия;
- классифицировать ESG-риски по трем основным компонентам (экологический, социальный, управленческий) применительно к специфике строительного производства;
- изучить международный и российский опыт управления ESG-рисками в строительных цепочках поставок;
- оценить готовность российских строительных компаний к внедрению систем мониторинга ESG-рисков;

– сформулировать методические рекомендации по построению системы управления ESG-рисками поставщиков.

Объектом исследования выступают цепочки поставок материалов, оборудования и услуг в строительной отрасли регионов Сибири и Российской Федерации в целом. Предметом исследования являются ESG-риски, возникающие на различных этапах цепочек поставок строительных организаций.

#### МЕТОДЫ

Методологическую основу исследования составили методы, включающие системный анализ для изучения структуры цепочек поставок и взаимосвязей между их элементами, метод сравнения для сопоставления практик управления ESG-рисками в различных юрисдикциях, метод экспертных оценок для определения значимости отдельных категорий рисков. Применялся также метод анкетирования специалистов строительных компаний для выявления текущего уровня интеграции ESG-критериев в процессы закупок и управления поставщиками.

Информационную базу составили данные Федеральной службы государственной статистики о развитии строительной отрасли, аналитические материалы Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации [3], публикации международных организаций, нефинансовые отчеты ведущих российских и зарубежных строительных компаний, научные статьи отечественных и зарубежных авторов по проблематике устойчивого развития и управления цепочками поставок.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Структура цепочек поставок в строительстве характеризуется высокой степенью сложности и вариативности в зависимости от типа реализуемого проекта.

Жилищное строительство, промышленное строительство, объекты инфраструктуры требуют различных материалов и технологий, что обуславливает формирование специфических цепочек создания стоимости. Типичная цепочка поставок начинается с добычи и первичной переработки сырья (добыча песка, щебня, руды для металлургического производства), затем следует производство строительных материалов (цемент, бетон, металлоконструкции, кирпич), далее оптовая и розничная торговля материалами, транспортировка до строительной площадки и финальное использование в строительном процессе [1].

Каждый этап цепочки поставок генерирует специфические ESG-риски. Добыча сырья сопряжена с деградацией земель, загрязнением

водных ресурсов и нарушением биоразнообразия.

Производство материалов характеризуется высокими выбросами парниковых газов (производство цемента обеспечивает около 8 % глобальных выбросов CO<sub>2</sub> согласно данным International Energy Agency) и потреблением энергии [6].

Транспортировка материалов увеличивает углеродный след проекта, особенно при использовании автомобильного транспорта и доставке на большие расстояния. Строительная площадка является источником пыли, шума, строительных отходов и создает риски для здоровья и безопасности работников.

Экологические риски цепочек поставок в строительстве можно разделить на несколько категорий. Углеродный след материалов представляет собой количество парниковых газов, выбрасываемых в атмосферу в процессе добычи сырья, производства, транспортировки и утилизации строительных материалов. Исследование, проведенное Национальным исследовательским Московским государственным строительным университетом в 2023 г., показало, что до 60 % углеродного следа здания формируется на стадии производства и поставки материалов, и только 40 % приходится на эксплуатационный период.

Компании, не учитывающие углеродный след своих поставщиков, сталкиваются с репутационными рисками и могут столкнуться с будущими регуляторными ограничениями, когда углеродное регулирование будет распространено на всю цепочку создания стоимости.

Риски истощения природных ресурсов связаны с нерациональным использованием невозобновляемых материалов. Добыча песка для строительных нужд достигла критических масштабов в ряде регионов мира, приводя к эрозии береговых линий и изменению русел рек.

Вырубка лесов для производства пиломатериалов без должного лесовосстановления создает долгосрочные экологические проблемы. Строительные компании, не отслеживающие происхождение древесины у своих поставщиков, могут непреднамеренно способствовать нелегальным рубкам. Загрязнение окружающей среды включает выбросы в атмосферу, сбросы в водные объекты и накопление отходов производства материалов. Производство кирпича и керамических изделий часто сопровождается выбросами тяжелых металлов. Предприятия по производству лакокрасочных материалов и химических добавок для бетона могут быть источниками токсичных веществ. Строительная компания несет репутационные

и потенциальные юридические риски, если ее поставщики не соблюдают экологические стандарты, даже если формально ответственность лежит на производителе материалов.

Социальные риски в цепочках поставок строительства концентрируются вокруг условий труда и прав работников на всех этапах производства и доставки материалов [16]. Нарушения трудовых прав включают использование принудительного труда, детского труда, несоблюдение минимальных стандартов оплаты и продолжительности рабочего дня.

Международная организация труда в своем докладе 2022 г. отмечает, что строительная отрасль входит в тройку секторов с наибольшим риском эксплуатации труда мигрантов и нарушений базовых трудовых прав [10].

Субподрядные организации, особенно небольшие фирмы на нижних уровнях цепочки поставок, зачастую не имеют формализованных систем управления персоналом и могут допускать серьезные нарушения. Генеральный подрядчик при этом несет репутационные риски, поскольку общественность и регуляторы все чаще возлагают ответственность на крупные компании за действия всех участников цепочки создания стоимости.

Риски охраны труда и промышленной безопасности особенно актуальны для производств строительных материалов с вредными условиями труда.

Добыча асбеста, производство минеральной ваты, работа с токсичными химическими веществами при изготовлении полимерных материалов создают угрозы для здоровья работников. По данным Фонда социального страхования Российской Федерации, строительная отрасль стабильно занимает второе место по количеству несчастных случаев на производстве после добывающей промышленности, причем значительная доля травматизма приходится на предприятия-поставщики материалов и субподрядные организации. Строительная компания, не проверяющая своих поставщиков на соблюдение стандартов охраны труда, может столкнуться с приостановкой проекта при выявлении нарушений контролирующими органами, а также с исками со стороны пострадавших работников. Воздействие на местные сообщества представляет собой еще один аспект социальных рисков. Добыча песка и гравия может приводить к изменению ландшафта и нарушению традиционного уклада жизни населения прилегающих территорий. Цементные заводы являются источником пыли и шума, снижающих качество жизни жителей близлежащих населенных пунктов. Компании,

не учитывающие интересы местных сообществ в своих цепочках поставок, рискуют столкнуться с протестами населения, негативным освещением в средствах массовой информации и сложностями в получении разрешительной документации для будущих проектов.

Риски управления в цепочках поставок строительства связаны с непрозрачностью структуры собственности поставщиков, отсутствием надлежащих процедур комплаенс и этического ведения бизнеса. Коррупционные риски в строительной отрасли традиционно оцениваются как высокие. Transparency International в своем исследовании 2023 г. поместила строительство на второе место среди наиболее подверженных коррупции отраслей после добывающей промышленности [5]. Откаты при выборе поставщиков, завышение стоимости материалов, использование фирм-однодневок для оптимизации налоговых платежей создают финансовые и юридические риски для всех участников цепочки [11].

Недостаточная прозрачность цепочек поставок препятствует эффективному управлению ESG-рисками. Многоуровневая структура субподряда приводит к тому, что генеральный подрядчик может не знать, кто фактически производит используемые материалы и в каких условиях. Исследование, проведенное компанией McKinsey в 2022 г., показало, что в среднем строительные компании имеют полную информацию только о 30 % своих поставщиков первого уровня и практически не обладают данными о субподрядчиках второго и третьего уровней [12].

Такая непрозрачность создает слепые зоны в управлении рисками и не позволяет компаниям гарантировать соблюдение ESG-стандартов на всех этапах цепочки создания стоимости.

Конфликт интересов и недобросовестная деловая практика включают ситуации, когда решения о выборе поставщиков принимаются не на основе объективных критериев качества и цены, а под влиянием личных связей сотрудников с представителями поставщиков [4].

Отсутствие формализованных процедур закупок, критериев оценки и сравнения предложений, документирования процесса принятия решений создает возможности для злоупотреблений и снижает эффективность управления цепочками поставок [8].

Инвесторы и кредитные организации при оценке строительных компаний все большее внимание уделяют наличию политик и процедур, обеспечивающих прозрачность и подотчетность в отношениях с поставщиками [14].

Международный опыт управления ESG-рисками в строительных цепочках поставок демонстрирует разнообразие подходов и инструментов. Европейский союз принял директиву о корпоративной должной осмотрительности в области устойчивого развития (Corporate Sustainability Due Diligence Directive), которая обязывает крупные компании выявлять, предотвращать и устранять негативное воздействие своей деятельности и деятельности своих цепочек поставок на права человека и окружающую среду. Строительные компании, работающие на европейском рынке, обязаны внедрить процессы оценки рисков поставщиков, проводить аудиты и предпринимать корректирующие действия при выявлении нарушений.

Группа Всемирного банка разработала экологические и социальные стандарты для проектов, получающих финансирование международных финансовых институтов. Стандарт ESS2 «Труд и условия труда» требует от заемщиков обеспечить достойные условия труда и защиту трудовых прав не только для собственных работников, но и для работников подрядчиков и субподрядчиков.

Стандарт ESS3 «Ресурсоэффективность и предотвращение загрязнения» устанавливает требования к управлению воздействием на окружающую среду на всех этапах жизненного цикла проекта, включая производство и поставку материалов.

Ведущие международные строительные корпорации внедряют кодексы поведения поставщиков, которые устанавливают обязательные требования в области ESG для всех контрагентов.

Компания Skanska, шведский строительный холдинг с операциями в десяти странах, разработала «Кодекс поведения для поставщиков», включающий требования по противодействию коррупции, соблюдению трудовых прав, охране окружающей среды и этичному ведению бизнеса. Поставщики обязаны подтвердить свое согласие с кодексом при заключении договора, а компания проводит регулярные аудиты для проверки соблюдения стандартов.

Немецкая компания Hochtief использует систему оценки и рейтингования поставщиков на основе ESG-критериев, где каждый потенциальный контрагент проходит предварительную проверку по экологическим, социальным и управленческим параметрам, и только компании, набравшие минимальный проходной балл, включаются в список одобренных поставщиков.

Платформы цифрового мониторинга цепочек поставок получают распространение как

инструмент повышения прозрачности и управления рисками. Технология блокчейн позволяет отслеживать происхождение материалов и фиксировать информацию о соблюдении ESG-стандартов на каждом этапе цепочки [13]. Проект Responsible Sourcing Blockchain Network, запущенный в 2021 г. консорциумом европейских строительных компаний, создает распределенный реестр данных о производителях строительных материалов, их экологических сертификатах, аудитах условий труда и других параметрах, позволяя генеральным подрядчикам получать достоверную информацию о своих поставщиках второго и третьего уровней.

Российская практика управления ESG-рисками в строительных цепочках поставок находится на стадии формирования. Крупные государственные корпорации и компании с иностранным участием демонстрируют более высокий уровень интеграции ESG-принципов по сравнению с частными компаниями среднего размера. ГК «Росатом» при реализации проектов строительства атомных электростанций требует от подрядчиков и поставщиков соблюдения стандартов экологической и промышленной безопасности, проводит регулярные проверки и включает в договоры положения об ответственности за нарушение требований. ПАО «Газпром» разработало стандарт организации по оценке и управлению воздействием на окружающую среду в цепочке поставок, предусматривающий систему экологических требований к поставщикам материалов и оборудования для строительства газопроводов и производственных объектов.

Анализ нефинансовых отчетов российских строительных компаний показывает, что раскрытие информации об управлении ESG-рисками в цепочках поставок остается ограниченным. Из 25 крупнейших строительных компаний России по данным рейтинга РБК только восемь публикуют нефинансовые отчеты по стандартам GRI или интегрированные отчеты, и лишь три из них содержат детальную информацию о процедурах оценки поставщиков по ESG-критериям [7]. Наиболее часто упоминаются требования по охране труда и промышленной безопасности, тогда как экологические критерии выбора материалов и оценка углеродного следа поставщиков встречаются значительно реже. Опрос, проведенный авторами исследования среди 47 специалистов департаментов закупок и управления цепочками поставок строительных компаний в 2024 г., выявил следующие барьеры внедрения ESG-подходов: 68 % респондентов указали на отсутствие методологии оценки поставщиков по

ESG-критериям, адаптированной к российским условиям, 59 % отметили недостаток достоверной информации о поставщиках, особенно о субподрядчиках нижних уровней, 54 % назвали проблемой высокую стоимость и трудоемкость проведения аудитов поставщиков, 47 % указали на отсутствие заинтересованности руководства компании во внедрении ESG-подходов из-за восприятия их как дополнительных затрат без явного экономического эффекта.

Вместе с тем, исследование выявило и позитивные тенденции. 72 % опрошенных отметили рост запросов от заказчиков на подтверждение соблюдения экологических и социальных стандартов в цепочках поставок при участии в тендерах на крупные проекты. 64 % указали, что банки и финансовые организации при рассмотрении заявок на кредитование начали задавать вопросы об управлении ESG-рисками. 51 % сообщили о случаях, когда информация о нарушениях трудовых прав или экологических стандартов у поставщиков приводила к репутационным проблемам для их компании.

Регуляторная среда в России постепенно эволюционирует в направлении усиления требований к ESG-раскрытию. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 14 июля 2021 г. № 1912-р утвердило цели и основные направления устойчивого развития в сфере климата, предусматривающие разработку методологии учета углеродного следа и стимулирование компаний к его снижению. Банк России в информационном письме от 12 июля 2021 г. № ИН-06-28/49 «О рекомендациях по раскрытию публичными акционерными обществами нефинансовой информации, связанной с деятельностью таких обществ» рекомендовал институциональным инвесторам учитывать ESG-факторы при принятии инвестиционных решений, что создает косвенное давление на компании, включая строительные, по улучшению ESG-показателей [2]. Министерство экономического развития Российской Федерации разработало методические рекомендации по внедрению принципов ESG и формированию отчетности в области устойчивого развития, которые могут быть использованы компаниями различных отраслей.

Классификация ESG-рисков цепочек поставок в строительстве может быть представлена в виде многоуровневой структуры. На первом уровне риски разделяются по трем компонентам ESG: экологические, социальные и управленческие. На втором уровне выделяются категории рисков внутри каждого компонента.

Экологические риски включают: риски изменения климата (выбросы парниковых газов при производстве материалов, углеродный след транспортировки), риски ресурсов (истощение невозобновляемых природных ресурсов, чрезмерное водопотребление), риски загрязнения (выбросы в атмосферу, сбросы в водоемы, образование опасных отходов), риски биоразнообразия (уничтожение мест обитания при добыче сырья, вырубка лесов). Социальные риски подразделяются на: трудовые риски (нарушение прав работников, использование принудительного и детского труда, дискриминация), риски охраны труда (несоблюдение стандартов безопасности, высокий травматизм), риски местных сообществ (негативное воздействие на население прилегающих к производственным объектам территорий, конфликты с коренными народами, нарушение прав землепользования), риски цепочки создания стоимости (отсутствие прозрачности условий труда у субподрядчиков нижних уровней). Управленческие риски охватывают: риски корпоративного управления (недостаточная прозрачность структуры собственности поставщиков, конфликты интересов), риски деловой этики (коррупция, взяточничество, отмывание денег), риски комплаенса (несоблюдение законодательства, наличие санкций и судебных разбирательств), риски управления цепочками поставок (отсутствие политик и процедур ESG, недостаточный контроль за субподрядчиками).

На третьем уровне классификации риски дифференцируются по стадиям жизненного цикла строительного проекта и типам поставщиков.

На стадии проектирования основные риски связаны с выбором материалов и технологий: использование материалов с высоким углеродным следом, отсутствие экологической сертификации, игнорирование принципов циркулярной экономики.

На стадии закупок риски концентрируются вокруг выбора поставщиков: недостаточная due diligence процедура, отсутствие ESG-критериев в тендерной документации, ценовая конкуренция в ущерб качеству и устойчивости.

На стадии производства материалов и компонентов возникают риски: несоблюдение экологических стандартов при добыче сырья и производстве, нарушение трудовых прав на производственных объектах, использование устаревших энергоемких технологий. На стадии логистики и транспортировки ключевыми являются: высокие выбросы CO<sub>2</sub> при транспортировке, неэффективные маршруты, отсутствие оптимизации грузоперевозок. На стадии

строительства основные риски связаны с нарушением требований охраны труда субподрядчиками, образованием строительных отходов и их ненадлежащей утилизацией, воздействием на окружающую среду стройплощадки.

Четвертый уровень классификации учитывает географическую специфику и типы материалов. Географические риски различаются в зависимости от региона происхождения поставщиков: поставщики из стран с низкими экологическими и социальными стандартами представляют повышенный риск, регионы с высоким уровнем коррупции создают управленческие риски, территории с дефицитом водных ресурсов усиливают экологические риски. По типам материалов риски варьируются существенно: цемент и бетон имеют высокий углеродный след (на производство цемента приходится около 8 % глобальных выбросов CO<sub>2</sub>), металлургическая продукция связана с интенсивным потреблением энергии и рисками для здоровья работников, лесоматериалы несут риски нелегальной вырубki и уничтожения биоразнообразия, химическая продукция (краски, изоляционные материалы) создает риски токсичных выбросов и воздействия на здоровье.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Проведенное исследование позволяет констатировать, что цепочки поставок строительной отрасли характеризуются многоуровневой структурой взаимодействия участников, генерирующей специфические экологические, социальные и управленческие риски на каждом этапе создания стоимости. Анализ показал, что углеродный след материалов формирует до 60 % совокупного воздействия объекта на климат, при этом производство цемента обеспечивает примерно 8 % глобальных выбросов парниковых газов, что требует первоочередного внимания при разработке стратегий декарбонизации строительного сектора. Экологические риски охватывают истощение невозобновляемых ресурсов, загрязнение атмосферы и водных объектов токсичными веществами, деградацию земель при добыче сырья, что создает долгосрочные угрозы для устойчивости бизнес-модели строительных компаний в условиях ужесточения климатического регулирования. Социальные риски концентрируются вокруг нарушений трудовых прав работников субподрядных организаций нижних уровней, использования принудительного труда мигрантов, несоблюдения стандартов охраны труда на производствах строительных материалов с вредными условиями. Строительная отрасль занимает второе место по количеству производственного травматизма после добывающего сектора, причем значительная доля

несчастных случаев приходится на предприятия-поставщики и субподрядчиков, что подтверждает актуальность внедрения механизмов контроля условий труда на всех уровнях цепочки поставок. Воздействие производственных объектов на местные сообщества через изменение ландшафта, шумовое и пылевое загрязнение создает репутационные риски и может приводить к социальным конфликтам, затрудняющим получение разрешительной документации для реализации проектов.

Управленческие риски обусловлены высоким уровнем коррупции в строительном секторе, непрозрачностью структуры собственности поставщиков, использованием фирм-однодневок в схемах налоговой оптимизации, конфликтами интересов при выборе контрагентов. Результаты опроса специалистов показали, что строительные компании обладают полной информацией только о 30 % поставщиков первого уровня и практически не имеют данных о субподрядчиках второго и третьего уровней, что создает слепые зоны в системе управления рисками и не позволяет гарантировать соблюдение стандартов на всех этапах цепочки создания стоимости.

Международный опыт демонстрирует эффективность комплексного подхода к управлению ESG-рисками через внедрение кодексов поведения поставщиков, систем рейтингования контрагентов по нефинансовым критериям, проведение регулярных аудитов соблюдения экологических и социальных стандартов, использование цифровых платформ на основе технологии блокчейн для обеспечения прозрачности происхождения материалов. Директива Европейского союза о корпоративной должной осмотрительности в области устойчивого развития устанавливает обязательные требования к крупным компаниям по выявлению и устранению негативного воздействия цепочек поставок на права человека и окружающую среду, что формирует новый стандарт ответственности бизнеса [18].

Российская практика управления ESG-рисками в строительных цепочках поставок находится на начальной стадии формирования, характеризуясь разрывом между крупными государственными корпорациями, внедряющими системные подходы к оценке поставщиков, и частными компаниями среднего размера, для которых ESG-критерии остаются периферийными факторами в процессах закупок. Анализ нефинансовой отчетности выявил, что только треть крупнейших строительных компаний публикует информацию об управлении ESG-рисками, при этом детальное раскрытие

процедур оценки поставщиков по экологическим и социальным параметрам встречается в исключительных случаях.

Опрос специалистов идентифицировал ключевые барьеры внедрения ESG-подходов: отсутствие адаптированной к российским условиям методологии оценки поставщиков отметили 68 % респондентов, недостаток достоверной информации о контрагентах указали 59 %, высокую стоимость аудитов назвали проблемой 54 %, отсутствие заинтересованности руководства констатировали 47 % опрошенных. Одновременно выявлены факторы, стимулирующие интеграцию ESG-принципов: 72 % участников опроса отметили рост запросов заказчиков на подтверждение соблюдения стандартов устойчивости, 64 % указали на учет ESG-факторов банками при кредитовании, 51 % сообщили о репутационных проблемах вследствие нарушений у поставщиков. Регуляторная среда постепенно эволюционирует через утверждение целей устойчивого развития в сфере климата, рекомендации Банка России по ответственному инвестированию, методические рекомендации Министерства экономического развития по формированию отчетности в области устойчивого развития, что создает институциональную основу для распространения ESG-практик в строительном секторе.

Давление со стороны институциональных инвесторов, учитывающих нефинансовые факторы при принятии решений, формирует косвенные стимулы для строительных компаний к повышению прозрачности и улучшению управления рисками в цепочках поставок [15].

Разработанная классификация ESG-рисков по четырем уровням детализации позволяет

систематизировать факторы угроз применительно к специфике строительных цепочек поставок с учетом стадий жизненного цикла проекта, типов материалов, географического происхождения поставщиков. Методические рекомендации по построению системы мониторинга включают этапы идентификации критических поставщиков с высоким ESG-воздействием, разработки кодекса поведения контрагентов с обязательными требованиями, внедрения процедур предварительной проверки потенциальных партнеров, проведения регулярных аудитов соблюдения стандартов, использования цифровых инструментов отслеживания происхождения материалов, интеграции ESG-критериев в тендерную документацию и договоры, формирования системы показателей для оценки эффективности управления рисками. Практическая реализация предложенных подходов позволит строительным компаниям снизить вероятность реализации репутационных, регуляторных и операционных рисков, связанных с деятельностью поставщиков, повысить инвестиционную привлекательность через демонстрацию приверженности принципам устойчивого развития, обеспечить соответствие растущим требованиям заказчиков и финансовых институтов к нефинансовым показателям деятельности.

Формирование устойчивых цепочек поставок становится конкурентным преимуществом в условиях усиления глобального тренда на декарбонизацию экономики и повышение социальной ответственности бизнеса, что определяет стратегическую значимость интеграции ESG-принципов в систему управления закупками и взаимоотношениями с контрагентами строительных организаций.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Дамодаран А. Инвестиционная оценка: инструменты и методы оценки любых активов. М.: Альпина Паблицер, 2025. 1320 с.
2. Гусаров Н.И., Коготкова И.З. Принцип ESG в управлении цепочками поставок // Трансформация экономических моделей: циркулярная экономика, зеленое управление проектами и искусственный интеллект. Материалы 3-й Междунар. науч.-практ. конф. (г. Москва, 30 ноября 2023 г.). М., 2024. С. 62–65. EDN: DBMPPJ.
3. Ануфриев В.П., Гудим Ю.В., Каминов А.А. Устойчивое развитие. Энергоэффективность. Зеленая экономика. Екатеринбург: Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2021. 201 с. <https://doi.org/10.12737/1226403>. EDN: TTQHUG.
4. Матвеева М.В., Пешков В.В., Козьма М.В. Оценка рисков и возможностей, связанных с ESG-факторами, в инвестиционно-строительных проектах // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 3. С. 474–486. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-474-486>. EDN: ZKPGWH.
5. Савинов Ю.А., Зеленюк А.Н., Тарановская Е.В. Использование технологии «блокчейн» в международной торговле // Российский внешнеэкономический вестник. 2020. № 8. С. 63–85. EDN: XICKCU.
6. Eccles R.G., Klimenko S. The Investor Revolution: Shareholders are Getting Serious about Sustainability // Harvard Business Review. 2019. Vol. 97. Iss. 3. P. 106–116.

7. Шемякина Т.Ю. Применение ESG-факторов в инвестиционных строительных проектах // Вестник университета. 2021. № 3. С. 132–139. <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2021-3-132-139>. EDN: OOEEZR.
8. Seuring S., Müller M. From a Literature Review to a Conceptual Framework for Sustainable Supply Chain Management // Journal of Cleaner Production. 2008. Vol. 16. Iss. 15. P. 1699–1710. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.04.020>.
9. Синицына А.С., Мурзин В.Б. Управление рисками в цепочках поставок // Логистика: современные тенденции развития. Материалы XXIV Междунар. науч.-практ. конф. (г. Санкт-Петербург, 10–11 апреля 2025 г.). Санкт-Петербург, 2025. С. 55–62. EDN: PEFTXN.
10. Ключанова А.Д. Риск-ориентированное управление цепочками поставок // Экономика будущего: тренды, вызовы и возможности. Материалы III Всероссийской научно-практической студенческой конференции с международным участием (г. Казань, 22–23 мая 2025 г.). Казань, 2025. С. 195–198. EDN: QATVYA.
11. Amel-Zadeh A., Serafeim G. Why and How Investors Use ESG Information: Evidence from a Global Survey // Financial Analysts Journal. 2018. Vol. 74. Iss. 3. P. 87–103. <https://doi.org/10.2469/faj.v74.n3.2>.
12. Buallay A. Is Sustainability Reporting (ESG) Associated with Performance? Evidence from The European Banking Sector // Management of Environmental Quality: An International Journal. 2019. Vol. 30. Iss. 1. P. 98115. <https://doi.org/10.1108/MEQ-12-2017-0149>.
13. Sparkes R., Cowton C.J. The Maturing of Socially Responsible Investment: A Review of Developing Link with Corporate Social Responsibility // Journal of Business Ethics. 2004. Vol. 52. Iss. 1. P. 45–57. <https://doi.org/10.1023/B:BUSI.0000033106.43260.99>.
14. Albuquerque R., Koskinen Y., Zhang C. Corporate Social Responsibility and Firm Risk: Theory and Empirical Evidence // Management Science. 2019. Vol. 65. Iss. 10. P. 4451–4469. <https://doi.org/10.1287/mnsc.2018.3043>.
15. Ilhan E., Sautner Z., Vilkov G. Carbon Tail Risk // The Review of Financial Studies. 2021. Vol. 34. Iss. 3. P. 777–799. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3204420>.

#### REFERENCES

1. Damodaran A. *Investment Valuation: Tools and Methods for Valuing Any Asset*. Moscow: Alpina Publisher, 2025. 1320 p. (In Russ.).
2. Gusarov N.I., Kogotkova I.Z. The ESG Principle in Supply Chain Management. In: *Transformatsiya ehkono-micheskikh modelei: tsirkulyarnaya ehkonomika, zelenoe upravlenie proektami i iskusstvennyi intellekt. Materialy 3-i Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Transformation of Economic Models: Circular Economy, Green Project Management, and Artificial Intelligence. Proceedings of the 3rd International Scientific and Practical Conference*. 30 November 2023, Moscow. Moscow, 2024. P. 62–65. (In Russ.). EDN: DBMPPJ.
3. Anufriev V.P., Gudim Ju.V., Aitkali A.A. *Sustainable Development. Energy Efficiency. Green Economy*. Yekaterinburg: Scientific and Publishing Center INFRA-M LLC, 2021. 201 p. (In Russ.). <https://doi.org/10.12737/1226403>. EDN: TTQHUG.
4. Matveeva M.V., Peshkov V.V., Kozma M.V. Assessing Risks and Opportunities Associated with ESG Factors in Investment Projects. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(3):474–486. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-474-486>. EDN: ZKPGWH.
5. Savinov Yu.A., Zelenuk A.N., Taranovskaja E.V. Blockchain Technology in International Trade. *Rossiiskii vneshneehkonomicheskii vestnik*. 2020;8:63–85. (In Russ.). EDN: XICKCU.
6. Eccles R.G., Klimenko S. The Investor Revolution: Shareholders are Getting Serious about Sustainability. *Harvard Business Review*. 2019;97(3):106–116.
7. Shemyakina T.Yu. Application of ESG-Factors in Investment Construction Projects. *Vestnik universiteta*. 2021;3:132–139. (In Russ.). <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2021-3-132-139>. EDN: OOEEZR.
8. Seuring S., Müller M. From a Literature Review to a Conceptual Framework for Sustainable Supply Chain Management. *Journal of Cleaner Production*. 2008;16(15):1699–1710. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.04.020>.
9. Sinitsyna A.S., Murzin V.B. Risk Management in Supply Chains. In: *Logistika: sovremennyye tendentsii razvitiya. Materialy XXIV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Logistics: Current Development Trends. Proceedings of the XXIV International Scientific and Practical Conference*. 10–11 April 2025, Saint Petersburg. Saint Petersburg; 2025. P. 55–62. (In Russ.). EDN: PEFTXN.
10. Klyukanova A.D. Risk-Based Supply Chain Management. In: *Ehkonomika budushchego: trendy, vyzovy i vozmozhnosti. Materialy III Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi studencheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem = The Economy of the Future: Trends, Challenges, and Opportunities. Proceedings of the III All-Russian Scientific and Practical Student Conference with International Participation*. 22–23 May 2025, Kazan. Kazan; 2025. P. 195–198. (In Russ.). EDN: QATVYA.

11. Amel-Zadeh A., Serafeim G. Why and How Investors Use ESG Information: Evidence from a Global Survey. *Financial Analysts Journal*. 2018;74(3):87-103. <https://doi.org/10.2469/faj.v74.n3.2>.
12. Buallay A. Is Sustainability Reporting (ESG) Associated with Performance? Evidence from The European Banking Sector. *Management of Environmental Quality: An International Journal*. 2019;30(1):98-115. <https://doi.org/10.1108/MEQ-12-2017-0149>.
13. Sparkes R., Cowton C.J. The Maturing of Socially Responsible Investment: A Review of Developing Link with Corporate Social Responsibility. *Journal of Business Ethics*. 2004;52(1):45-57. <https://doi.org/10.1023/B:BUSI.0000033106.43260.99>.
14. Albuquerque R., Koskinen Y., Zhang C. Corporate Social Responsibility and Firm Risk: Theory and Empirical Evidence. *Management Science*. 2019;65(10):4451-4469. <https://doi.org/10.1287/mnsc.2018.3043>.
15. Ilhan E., Sautner Z., Vilkov G. Carbon Tail Risk. *The Review of Financial Studies*. 2021;34(3):777-799. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3204420>.

### Информация об авторах

#### **Пешков Виталий Владимирович,**

д.э.н., профессор, заведующий кафедрой экспертизы и управления недвижимостью, директор института архитектуры, строительства и дизайна, Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия, e-mail: [pvv@ex.istu.edu](mailto:pvv@ex.istu.edu) <https://orcid.org/0000-0001-7999-0999>  
Author ID: 502473

#### **Козьма Мария Валентиновна,**

преподаватель ГПХ, Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия, ✉e-mail: [qween.lin@mail.ru](mailto:qween.lin@mail.ru) <https://orcid.org/0009-0003-2257-7935>  
Author ID: 1260584

#### **Комаров Константин Андреевич,**

к.э.н., доцент, заведующий кафедрой строительного производства, Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия, e-mail: [komarovka@ex.istu.edu](mailto:komarovka@ex.istu.edu) <https://orcid.org/0009-0002-7183-2296>  
Author ID: 739432

#### **Рудских Валерия Викторовна,**

к.э.н., доцент, доцент кафедры проектирования зданий и экспертизы недвижимости, Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 82, Россия, e-mail: [vvetrova@sfu-kras.ru](mailto:vvetrova@sfu-kras.ru) <https://orcid.org/0000-0002-7744-2902>  
Author ID: 865930

### Information about the authors

#### **Vitaly V. Peshkov,**

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Department of Real Estate Expertise and Management, Director of the Institute of Architecture, Construction and Design, Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia, e-mail: [pvv@ex.istu.edu](mailto:pvv@ex.istu.edu) <https://orcid.org/0000-0001-7999-0999>  
Author ID: 502473

#### **Maria V. Kozma,**

Lecturer on a Civil Law Contract Basis, Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia, ✉e-mail: [qween.lin@mail.ru](mailto:qween.lin@mail.ru) <https://orcid.org/0009-0003-2257-7935>  
Author ID: 1260584

#### **Konstantin A. Komarov,**

Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor, Head of the Department of Construction Production, Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia, e-mail: [komarovka@ex.istu.edu](mailto:komarovka@ex.istu.edu) <https://orcid.org/0009-0002-7183-2296>  
Author ID: 739432

#### **Valeria V. Rudskikh,**

Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Building Design and Real Estate Expertise, Siberian Federal University, 82 Svobodny Ave., Krasnoyarsk, 660041, Russia, e-mail: [vvetrova@sfu-kras.ru](mailto:vvetrova@sfu-kras.ru) <https://orcid.org/0000-0002-7744-2902>  
Author ID: 865930

**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 29.05.2025.  
Одобрена после рецензирования 01.07.2025.  
Принята к публикации 14.07.2025.

**Information about the article**

The article was submitted 29.05.2025.  
Approved after reviewing 01.07.2025.  
Accepted for publication 14.07.2025.



## Адаптация программного комплекса RENGA для проектирования мостовых сооружений

И.А. Бадмаева<sup>1</sup>, Е.В. Волкова<sup>2</sup>✉

<sup>1</sup>ООО «ВостСибдорПроект», Иркутск, Россия

<sup>2</sup>Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

**Аннотация.** Цель работы заключается в изучении проблемы разработки информационной модели мостовых конструкций в процессе проектирования в области дорожного строительства. Применение технологии информационного моделирования в области дорожного хозяйства позволяет осуществлять непрерывный мониторинг строительного объекта на всех этапах его жизненного цикла. Для успешного осуществления проектирования информационной модели необходимо организовать все процессы взаимодействия между участниками проектирования. Требуется создать специализированную библиотеку знаний в форме каталога с типовыми решениями, которые могут быть использованы в будущих проектах, с возможностью изменения параметров компонентов. В статье рассматривается технология создания информационной модели мостового сооружения с применением программного комплекса Renga. Показан сценарий организации проектирования по технологии информационного моделирования. В данной работе были выбраны зависимости инструментов программного комплекса Renga с элементами мостового сооружения. Представлена 3D-модель моста с информацией по каждому элементу, что дает возможность создать пространственную модель инженерного сооружения. Сделан вывод, что использование информационной модели значительно упрощает работу с проектируемым объектом, предоставляя ряд преимуществ по сравнению с традиционными методами проектирования мостовых сооружений. Такой подход к проектированию повышает результативность, снижает вероятность ошибок и способствует более эффективному взаимодействию участников проекта. В итоге, информационная модель обеспечивает более целостный подход к проектированию, способствуя созданию качественного и завершённого проекта.

**Ключевые слова:** геометрические параметры, информационное моделирование в сфере дорожного хозяйства, технология информационного моделирования, программный комплекс Renga, уровень декомпозиции, информационная модель моста

**Для цитирования:** Бадмаева И.А., Волкова Е.В. Адаптация программного комплекса RENGA для проектирования мостовых сооружений // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 4. С. 646–654. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-4-646-654>. EDN: CSTZLM.

### Original article

## Adaptation of the RENGA software package for the design of bridge structures

Irina A. Badmaeva<sup>1</sup>, Elena V. Volkova<sup>2</sup>✉

<sup>1</sup>LLC VostSibdorProject, Irkutsk, Russia

<sup>2</sup>Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

**Abstract.** The purpose of the work is to study the problem of developing an information model of bridge structures in the design process in the field of road construction. The use of information modeling technology in the field of road management allows for continuous monitoring of a construction facility at all stages of its life cycle. For the successful implementation of the information model design, it is necessary to organize all the processes of interaction between the design participants. It is required to create a

specialized knowledge library in the form of a catalog with standard solutions that can be used in future projects, with the possibility of changing component parameters. The article discusses the technology of creating an information model of a bridge structure using the Renga software package. The scenario of the organization of design based on information modeling technology is shown. In this paper, the dependencies of the Renga software package tools with the elements of the bridge structure were selected. A 3D model of the bridge is presented with information on each element, which makes it possible to create a spatial model of an engineering structure. It is concluded that the use of the information model greatly simplifies the work with the projected object, providing a number of advantages over traditional methods of designing bridge structures. This approach to design increases efficiency, reduces the likelihood of errors, and promotes more effective collaboration between project participants. As a result, the information model provides a more holistic approach to design, contributing to the creation of a high-quality and completed project.

**Keywords:** geometric parameters, information modeling in the field of road facilities, information modeling technology, Renga software package, decomposition level, bridge information model

**For citation:** Badmaeva I.A., Volkova E.V. Adaptation of the RENGA software package for the design of bridge structures. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2025;15(4):646-654. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-4-646-654>. EDN: CSTZLM.

## ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных научно-технических и технологических задач внедрения технологии информационного моделирования в сферу дорожного хозяйства является использование информационной модели, охватывающая все этапы жизненного цикла объекта дорожного строительства [1, 2].

Информационные модели разрабатываются на основе данных инженерно-геодезических и геологических условий местности, в которой они расположены, геометрических характеристик дорожных объектов, а также сведений о происходящих технологических процессах [3, 4]. Информационная модель дает возможность обеспечить постоянный контроль всех технических планов и внесения изменений данных на разных этапах строительства, реконструкции, ремонта автомобильных дорог и инженерных сооружений [5]. Чтобы успешно создавать информационную модель, нужно организовать эффективное взаимодействие всех участников проектной группы. Кроме этого, крайне важна специальная база данных, библиотека, содержащая каталог типовых решений. Такая библиотека позволит ускорить процесс проектирования за счет использования готовых компонентов, при этом предоставляя возможность изменять их параметры под специфику каждого проекта. При разработке модели проекта, возникает потребность использования различных программных продуктов [6, 7]. На данный момент в проектировании автомобильных дорог используются такие программные продукты, как ТИМ Кредо, IndorCAD, Топоматик Robur и другие вспомогательные программы [8, 9].

Так, целью работы стало исследование отечественной программы Renga для проектирования мостовых сооружений на основе технологии информационного моделирования (ТИМ). Технология информационного моделирования дает возможность уменьшить вероятность ошибок [10, 11]. До начала разработки ТИМ-проекта необходимо понять, что будет в нем содержаться и в каких программных продуктах будет выполняться проект [12, 13].

Перед началом разработки ТИМ-проекта любого объекта необходимо учитывать ТИМ-стандарт организации, требования заказчика к проекту (предоставлены ли заказчиком Employer Information Requirement – EIR), план реализации проекта с использованием информационного моделирования с определением ролей и обязанностей (разработан ли ВЕР/ПИМ), возможности сервера для организации работы всех проектировщиков над моделью, набор программных средств, который будет использован в процессе разработки информационных цифровых моделей рельефа местности и цифровой модели ситуации, а также конструктивных и сметных расчетов, программу, предназначенную для формирования консолидированной модели и проведения проверок на наличие коллизий, требования к экспертизе проекта.

Предлагается следующий сценарий организации проектирования с применением технологии информационного моделирования [14]:

– разработка BIM-стандарта организации, а также создание EIR и ВЕР по BIM-стандарту АСКОН;

– организовать совместную и одновременную работу всей команды проектировщиков в

прикладном ПО в режиме реального времени, настроив сервер;

– создать в Renga (мосты, здания и сооружения) архитектурный и конструктивный разделы проекта, а также внутренние инженерные сети;

– выполнить конструкторские расчеты модели, выполненной в Renga, в ПК ЛИРА-10;

– выполнить цифровую информационную модель местности, дороги и наружные инженерные сети в программном комплексе Топомастик Robur.

Сметную документацию 3D-модели из Renga можно сформировать в одной из следующих программ:

– 1С: Смета 3, подключить в Renga расширения сметы и визуализация данных;

– ПК ABC, включить в Renga расширение ABC;

– BIM WIZARD – расширение WIZARDSOFT;

– консолидированную модель собрать и проверить на коллизии в Pilot-BIM – среде общих данных (СОД).

В данной статье рассмотрим возможность применения программного комплекса Renga для создания информационной модели мостового сооружения. Программный комплекс Renga разработан для создания информационной модели здания: «Renga в переводе с японского языка означает кирпич. Кирпич – базовый материал в строительстве.

Простой и удобный в работе, но из него строят надежные здания, которые служат человечеству веками.

Renga также создавалась как базовый инструмент проектировщика с лаконичным интерфейсом и удобной в работе функциональностью для свободы творчества без ограничений» [15, 16].

### **МЕТОДЫ**

*Renga. Технология создания модели моста*

Такие сложные составные конструкции как мост можно разделить на основные компоненты, которые разделяются на более мелкие детали.

Такой метод разделения называется декомпозицией.

Под уровнем декомпозиции понимается детализация модели от общего к частному. В дорожном проектировании можно использовать следующие уровни декомпозиции:

1. Включает в себя трассирование автомобильной дороги в пространстве, что подразумевает создание трассы автомобильной дороги в плане и продольном профиле. На этом этапе осуществляется разбивка трассы на

участки, которые могут включать дороги, мостовые сооружения, тоннели, с учетом типа препятствий и возвышения насыпи дороги над уровнем земли.

2. Формирование базовых элементов информационной модели, таких как пролетные строения, устои (береговые опоры) и промежуточные опоры.

3. Данный уровень включает в себя следующие элементы: бордюры, колесоотбойные брусья, тротуары и перила, гидроизоляционные слои, дорожное покрытие, системы водоотвода, а также инженерные коммуникации, такие как системы связи и электроснабжения.

4. Дорожные знаки, светофоры, мачты освещения, элементы ИТС и др.

Рассмотрим технологию создания модели в программном комплексе Renga на примере моста через р. Холой. Перед началом работы необходимо определить какими инструментами будут выполняться элементы моста.

Для начала разделим типовую схему балочного моста на группы по элементам: пролетные строения, промежуточные и береговые опоры. В данной работе были выбраны зависимости, представленные в таблице.

Каждый инструмент имеет свои уникальные настройки, но также есть общие свойства, например, материал и угол поворота. Для удобства проектирования был использован инструмент «Сборки».

Создание стиля сборки выполняется через набор инструментов, расположенный в отдельной вкладке.

При вставке объектов, скопированных в 3D виде, в стиль сборки добавляются только те элементы, которые входят в набор инструментов данного стиля и принадлежат одному (нижнему) уровню. Для каждой составной части сооружения необходимо создать «Сборку». В дальнейшем такой способ ведения работы упростит корректировку. При необходимости «Сборку» можно вращать и перемещать.

На рис. 1 представлена часть сборок, которая будет включаться в итоговую модель мостового перехода. Комбинация таких сборок составляет в общую модель, которую можно дополнять до нужного уровня проработки.

На рис. 2 представлен промежуточный этап создания модели мостового перехода.

В этой сборке присутствуют такие элементы как сваи, ригель, подферменные тумбочки и опорные части.

На рис. 3 представлена полная сборка всего мостового перехода.

Для удобства ориентирования были нанесены выносные линии для обозначения опор по ходу пикетажа дороги.

Зависимости инструментов ПК Renga с элементами мостового сооружения  
 Dependencies of Renga PC tools with elements of a bridge structure

Название элемента в Renga	Балка	Перекрытие	Фундамент	Колонна
Элемент мостового сооружения	шкафная стенка	дорожное полотно	засыпки	опоры
	плиты пролетного строения	ригель	дорожное полотно	сваи
	переходные плиты на сопряжении	ростверк	–	–
	косоур	–	–	–
	монолитный щит	–	–	–
	открылки	–	–	–

После сборки всех элементов моста и визуальной проверки необходимо экспортировать модель в формат IFC для дальнейшей работы. Экспорт в IFC позволяет сохранить пользовательские свойства элементов (например, марку бетона) для использования в других

ТИМ-системах [17]. Как показано на рис. 4, свойства переходной плиты, экспортированные в IFC, включают не только геометрические параметры, но и данные о материале и нагрузках, что упрощает интеграцию модели с системами управления строительством.

## Стили сборки <sup>(38)</sup>

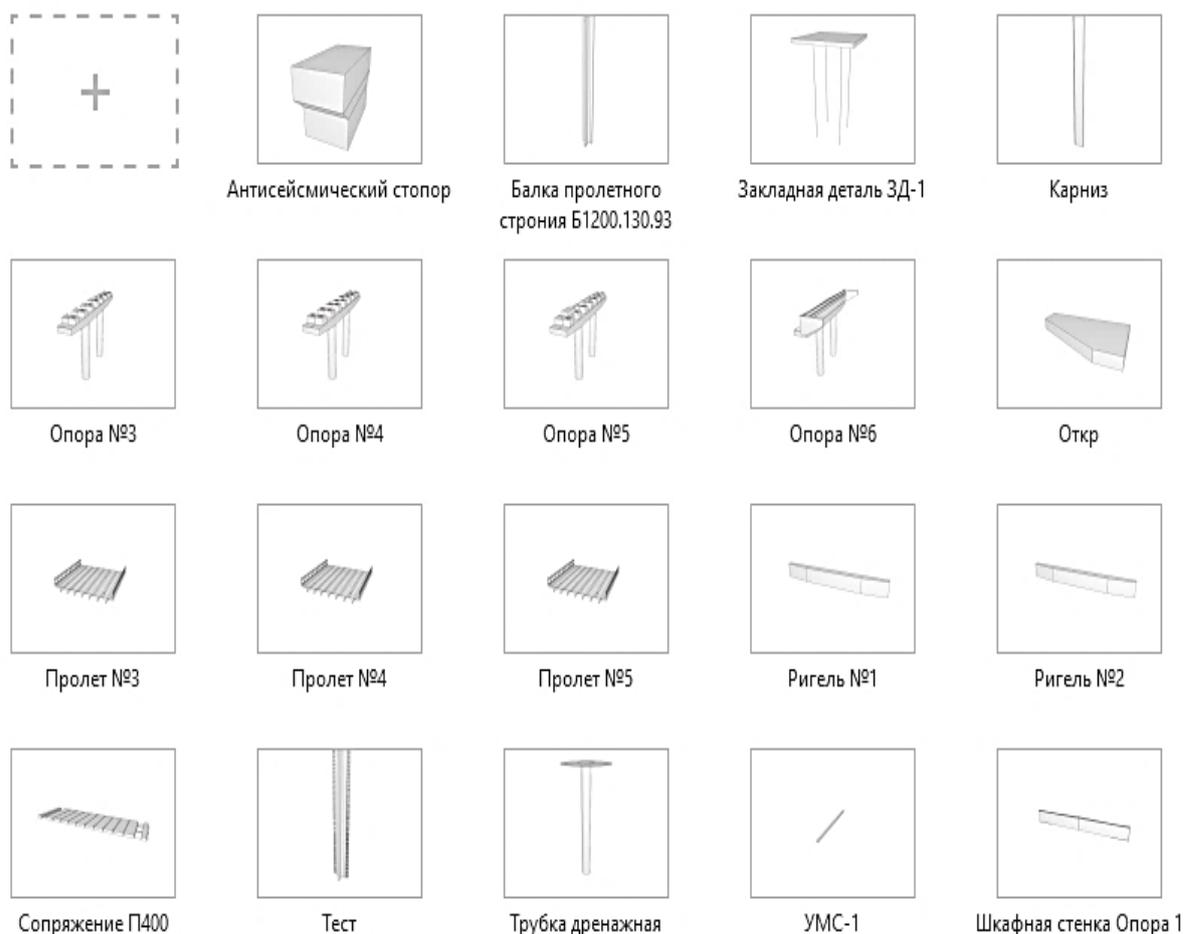
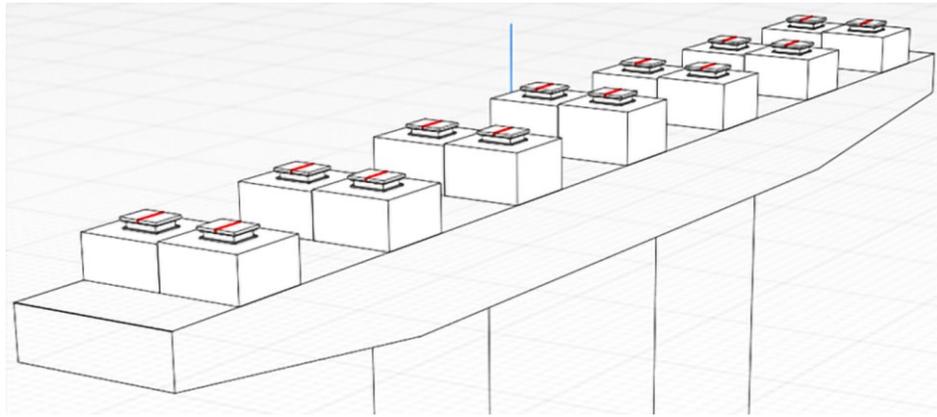
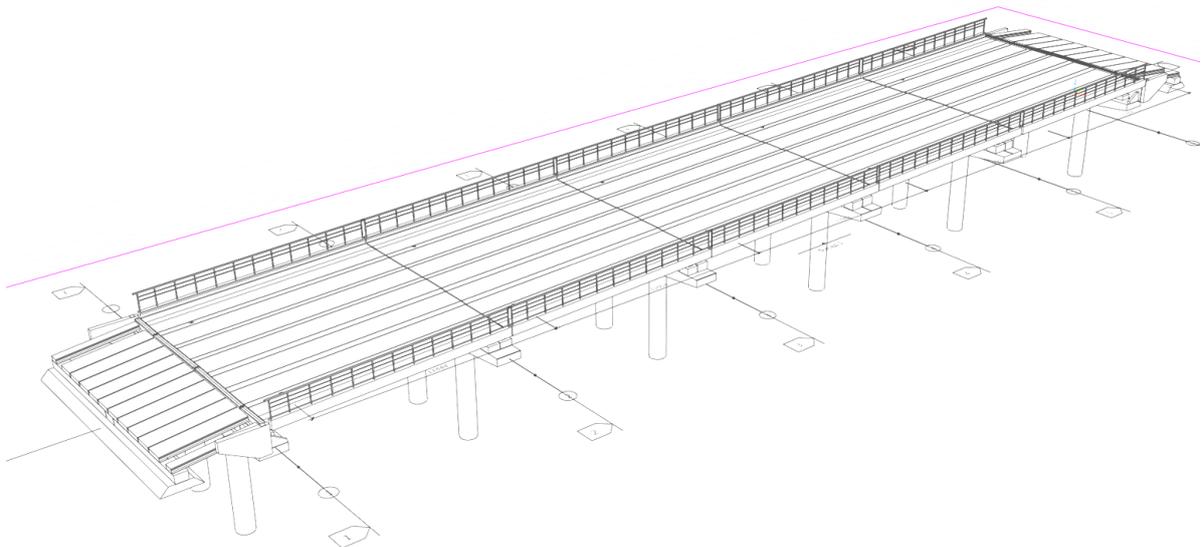


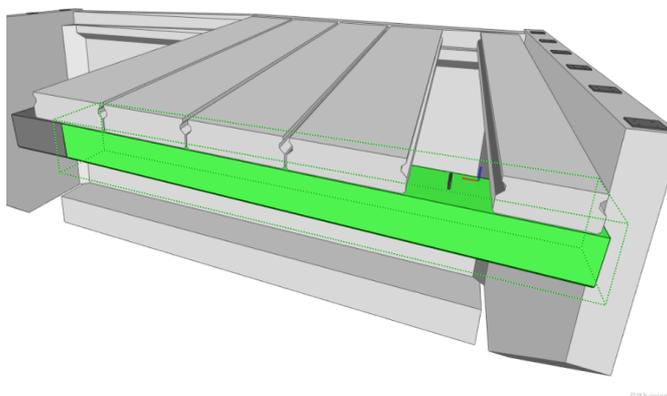
Рис. 1. Стили сборки в программном комплексе Renga на примере моста через р. Холой  
 Fig. 1. Assembly styles in Renga PC using the example of a bridge across the Kholoi River



**Рис. 2. Сборка опоры № 2, состоящая из множества отдельных сборок элементов**  
**Fig. 2. Assembly of support No. 2, consisting of many individual assemblies of elements**



**Рис. 3. Общий вид информационной модели моста через р. Холой**  
**Fig. 3. General view of the information model of the bridge over the Kholoi River**



Активный	Тип	Название	Описание
<input type="checkbox"/>	Составные		
<input checked="" type="checkbox"/>	Консольный элемент	Сборка - Переходная плита 1600.63.30	
<input checked="" type="checkbox"/>	Консольный элемент	Сборка - Переходная плита 1600.98.30	
<input checked="" type="checkbox"/>	Консольный элемент	Сборка - Переходная плита 1600.98.30	
<input checked="" type="checkbox"/>	Консольный элемент	Сборка - Переходная плита 1600.98.30	
<input checked="" type="checkbox"/>	Консольный элемент	Сборка - Обладание боковой линией	
<input checked="" type="checkbox"/>	Консольный элемент	Сборка - Лекель 1490.63.50	
<input checked="" type="checkbox"/>	Балка	Балка - Лекель	
<input checked="" type="checkbox"/>	Арматурный стержень	Арматурный стержень: 18,00мм	
<input checked="" type="checkbox"/>	Арматурный стержень	Арматурный стержень: 18,00мм	
<input checked="" type="checkbox"/>	Арматурный стержень	Арматурный стержень: 14,00мм	
<input checked="" type="checkbox"/>	Арматурный стержень	Арматурный стержень: 14,00мм	
<input checked="" type="checkbox"/>	Арматурный стержень	Арматурный стержень: 14,00мм	
<input checked="" type="checkbox"/>	Арматурный стержень	Арматурный стержень: 14,00мм	
<input checked="" type="checkbox"/>	Арматурный стержень	Арматурный стержень: 14,00мм	
<input checked="" type="checkbox"/>	Арматурный стержень	Арматурный стержень: 14,00мм	
<input checked="" type="checkbox"/>	Арматурный стержень	Арматурный стержень: 14,00мм	
<input checked="" type="checkbox"/>	Арматурный стержень	Арматурный стержень: 14,00мм	
<input checked="" type="checkbox"/>	Арматурный стержень	Арматурный стержень: 14,00мм	
<input checked="" type="checkbox"/>	Арматурный стержень	Арматурный стержень: 14,00мм	
<input checked="" type="checkbox"/>	Арматурный стержень	Арматурный стержень: 14,00мм	
<input checked="" type="checkbox"/>	Консольный элемент	Сборка - Опор	
<input checked="" type="checkbox"/>	Консольный элемент	Сборка - Шафная стенка	
<input checked="" type="checkbox"/>	Консольный элемент	Сборка - Монолитный боковой шпиг	
<input checked="" type="checkbox"/>	Консольный элемент	Сборка - Опор	
<input checked="" type="checkbox"/>	Консольный элемент	Сборка - Монолитный боковой шпиг	
<input checked="" type="checkbox"/>	Плиты	Перекрытие: 800,00 мм	
<input checked="" type="checkbox"/>	Плиты	Перекрытие: 800,00 мм	

Свойства	Расположено	Классификация	Связи	Значение	Единица
<b>Element Specific</b>					
Guid				21f10c509e712e026	
Identity				Идентиф	
Name				Балка - Лекель	
Tag				Лекель 1490.63.50	
<b>Profile</b>					
ProfileName				Лекель	
<b>Fact_BeamCommon</b>					
FreeRiding					
Reference					
Roll				0	
<b>Rev. BeamCommon</b>					

**Рис. 4. Вывод в IFC и просмотр свойств переходной плиты сопряжения**  
**Fig. 4. Output in IFC and viewing the properties of the transition plate of the coupling**

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

### Свойства объектов

В программе Renga для любых объектов модели, в том числе для рабочего проекта, отдельного участка сооружения, здания, чертежа, спецификации и таблицы пользователь может назначать свои свойства [18, 19].

Свойства объектов можно применять в следующих случаях:

- при составлении спецификаций и легенд;
- при создании стилей маркеров;
- в фильтрах;
- в ссылках;
- при экспорте в формат CSV;
- при экспорте в формат IFC;
- для группировки компонентов в обозревателе проекта.

Пользовательские свойства могут быть применены повторно. При условии совпадения названий свойств, соответствующих разным идентификаторам, они считаются разными свойствами. Наименования, заданные для свойств объектов, не будут сохраняться при вставке объектов, спецификаций и чертежей в другой проект. Для того, чтобы свойство экспортировалось в IFC в файле необходима соответствующая запись. Специальные свойства, описанные в разделе «Экспорт» в IFC, не нужно вносить в файл сопоставления параметров, они будут учтены при экспорте автоматически [20].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье рассмотрено применение программного комплекса Renga для создания информационной модели мостового сооружения на примере моста через р. Холой. Представлена 3D-модель моста с информацией по

каждому элементу, что дает возможность создать пространственную модель инженерного сооружения. Использование информационной модели значительно облегчает работу с объектом и обладает множеством преимуществ перед другими подходами к проектированию инженерных сооружений. Этот метод дает возможность объединить и увязать создаваемые разными специалистами и организациями весь проектируемый объект [21, 22].

Применение Renga позволит сократить время в дальнейшем проектировании на 20 % за счет использования библиотеки типовых решений, которую необходимо предварительно подготовить. Ключевой проблемой остается недостаток готовых библиотек типовых конструкций мостов, что увеличивает трудозатраты на этапе моделирования. Решение данной проблемы может заключаться в привлечении студентов технических вузов к разработке таких библиотек в рамках учебных проектов [23].

Это позволит пополнить базу стандартных решений для мостовых сооружений, даст будущим специалистам практические навыки работы с BIM-технологиями и снизит нагрузку на проектные организации за счет использования проверенных студенческих наработок. Таким образом, интеграция образовательного процесса с реальными задачами проектирования способствует развитию ТИМ-среды в дорожном строительстве и повышает качество подготовки кадров. Дальнейшие исследования целесообразно направить на автоматизацию наполнения библиотек и стандартизацию параметрических шаблонов для мостовых конструкций.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Голам А.М., Беляев И.М., Дмитриев С.М. Применение технологий информационного моделирования при проектировании и строительстве линейных транспортных объектов // Автомобильные дороги. 2024. № 3. С. 24–26. EDN: UKLMXI.
2. Семенова С.В. Повышение эффективности проектной деятельности путём внедрения технологий информационного моделирования // Студенческий вестник. 2024. № 21-10. С. 14–16. EDN: XECGBG.
3. Гевара Рада Л. Т., Пешков В. В., Мартыанов В. И., Радионова Е. А., Бужеева Ф. Г., Сайбаталова Е. В. Технологии информационного моделирования (BIM) как основа бережливого строительства // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 1. С. 70–81. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-70-81>. EDN: TDEUOH.
4. Panya D.S., Kim T., Choo S. An Interactive Design Change Methodology Using a BIM-Based Virtual Reality and Augmented Reality // Journal of Building Engineering. 2023. Vol. 68. P. 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.job.2023.106030>.
5. Abbondati F., Biancardo S.A., Palazzo S., Capaldo F.S., Viscione N. I-BIM for Existing Airport Infrastructures // Transportation Research Procedia. 2020. Vol. 45. P. 596–603. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.052>.
6. Бурбанов И.Д., Яценко В.П. Существующие возможности автоматизации процессов при использовании технологий информационного моделирования на примере отечественного ПО // Инвестиции. Строительство. Недвижимость: новые технологии и целевые приоритеты развития–2023. Материалы V Междунар. науч.-практ. конф. (г. Иркутск, 27 апреля 2023 г.). Иркутск, 2023. С. 76–81.

EDN: VLYKKS.

7. Чубуков Б.А. Renga для BIM проектирования, как связана с другими программами для проектирования и расчета конструкций // Студенческий. 2022. № 20-1. С. 37–39. EDN: HMGAPY.
8. Тимошенко Т.А., Клинг К.М. Обзор российских систем автоматизации проектных работ (САПР), использующих разработки технологий информационного моделирования (ТИМ), заменяющих зарубежные аналоги // Университетская наука. 2022. № 1. С. 88–90. EDN: BBYTOJ.
9. Овчинников М.А. Использование программного комплекса «Топоматик Robur» для информационного моделирования автомобильных дорог // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры. Материалы III Междунар. науч.-практ. конф. (г. Санкт-Петербург, 15–17 апреля 2020 г.). СПб, 2020. С. 141–145. <https://doi.org/10.23968/BIMAC.2020.016>. EDN: YDPPFJ.
10. Бадмаева И.А., Волкова Е.В. Технологии информационного моделирования объектов дорожного строительства // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 4. С. 521–528. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-521-528>. EDN: FXCTCH.
11. Ovsianikova T.Yu., Patsukov A.A. Building Information Modelling Systems: Strategic Objectives and Realities of Digital Transformation in Construction // Real Estate: Economics, Management. 2022. Vol. 1. P. 13–18. <https://doi.org/10.22337/2073-8412-2022-1-13-18>. EDN: VJSJCW.
12. Кирилюк С.А. Анализ текущих тенденций развития технологий информационного моделирования ТИМ // Вестник науки. 2024. Т. 2. № 4. С. 646–652. EDN: XWUAJO.
13. Kurdyukov D., Manukovsky A., Ilunina A., Kurdyukov R. Information Modeling Technology Application in the Road Industry // Proceedings Of The All-Russian Youth Interdisciplinary “Scientific And Practical Conference Science And Students – 2024” (Voronezh, 03 September, 2024). Voronezh, 2024. P. 102–107. [https://doi.org/10.58168/SAS\\_102-107](https://doi.org/10.58168/SAS_102-107).
14. Ефимов С.В., Паторняк А.В., Чаплин И.В. Применение технологии информационного моделирования при разработке проекта ремонта мостового сооружения // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2024. № 3. С. 113–121. <https://doi.org/10.24866/2227-6858/2024-3/113-121>. EDN: DPKWBE.
15. Лысый С.П., Забегалин А.В., Елкин Г.В. Моделирование в программе Renga // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. 2024. № 1. С. 86–90. EDN: CGANCL.
16. Лысый С.П., Забегалин А.В., Елкин Г.В. Функциональные возможности программы Renga // Образование и наука в современном мире. Инновации. 2024. № 2. С. 165–170. EDN: RMVHTS.
17. Leygonie R., Motamedi A., Iordanova I. Development of Quality Improvement Procedures and Tools for Facility Management BIM // Developments in the Built Environment. 2022. Vol. 11. P. 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2022.100075>.
18. Свигачева О.А., Герасенко В.А. Отечественная BIM-система Renga как современная трехмерная программа для проектирования зданий и сооружений // Молодой ученый. 2023. № 18. С. 68–69. EDN: MCFBCJ.
19. Тимошеко Т.А., Курбатов В.Л., Давзарян Г.С., Воронина М.Е. Совместная работа в программном обеспечении Renga // Университетская наука. 2023. № 2. С. 74–80. EDN: NLTHCL.
20. Tzu-Yi Chuang, Min-Jung Yang Change Component Identification of BIM Models for Facility Management Based On Time-Variant BIMs or Point Clouds // Automation in Construction. 2023. Vol. 147. P. 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104731>.
21. Чучалина В.П., Челноков А.С. Применение технологии информационного моделирования в мостостроении // Фундаментальные и прикладные исследования молодых ученых. Сборник материалов VIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, приуроченной к празднованию 300-летия Российской академии наук (г. Омск, 25–26 апреля 2024 г.). Омск, 2024. С. 402–405. EDN: AOXGCA.
22. Condotta M., Scanagatta C. BIM-Based Method to Inform Operation and Maintenance Phases through a Simplified Procedure // Journal of Building Engineering. 2023. Vol. 65. P. 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105730>.
23. Фролов М.В., Злобин Н.С., Бахтеев Н.А. Технология информационного моделирования и проблемы при ее внедрении в учебную программу строительных вузов // Дневник науки. 2022. № 8. С. 1–10. EDN: SOSHSO.

## REFERENCES

1. Golam A.M., Belyaev I.M., Dmitriev S.M. Application of Information Modeling Technologies in the Design and Construction of Linear Transport Facilities. *Avtomobilnye dorogi*. 2024;3:24-26. (In Russ.). EDN: UKLMXI.
2. Semenova S.V. Improving the Efficiency of Project Activities through the Implementation of Information Modeling Technologies. *Studencheskii vestnik*. 2024;21-10:14-16. (In Russ.). EDN: XECGBG.
3. Guevara Rada L.T., Peshkov V.V., Martyanov 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.
4. Panya D.S., Kim T., Choo S. An Interactive Design Change Methodology Using a BIM-Based Virtual Reality and Augmented Reality. *Journal of Building Engineering.* 2023;68:1-11. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106030>.
5. Abbondati F., Biancardo S.A., Palazzo S., Capaldo F.S., Viscione N. I-BIM for Existing Airport Infrastructures. *Transportation Research Procedia.* 2020;45:596-603. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.052>.
6. Burbanov I.D., Yashenko V.P. Existing Possibilities of BIM Process Automation on the Example of Russian Software. In: *Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost: novye tekhnologii i tselevye priority 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. 76–81. (In Russ.). EDN: VLYKKC.
7. Chubukov B.A. Renga for BIM Design, Features, How Popular They Are, How Related To Other Structural Design and Calculation Software. *Studencheskii.* 2022;20-1:37-39. (In Russ.). EDN: HMGAPY.
8. Timoshenko T.A., Kling K.M. An Overview of Russian Design Automation Systems (CAD) Using the Development of Information Modeling Technologies (TIM) Replacing Foreign Analogues. *University Science.* 2022;1:88-90. (In Russ.). EDN: BBYTOJ.
9. Ovchinnikov M.A. Using Topomatic Robur Software for Road Information Modeling. In: *BIM-modelirovanie v zadachakh stroitelstva i arkhitektury. Materialy III Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = BIM Modeling in Construction and Architecture. Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference.* 15–17 April 2020, Saint Petersburg. Saint Petersburg; 2020. P. 141–145. (In Russ.). <https://doi.org/10.23968/BIMAC.2020.016>. EDN: YDPPFJ.
10. Badmaeva I.A., Volkova E.V. Information Modelling of Road Facilities. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2022;12(4):521-528. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-521-528>. EDN: FXCTCH.
11. Ovsiannikova T.Yu., Patsukov A.A. Building Information Modelling Systems: Strategic Objectives and Realities of Digital Transformation in Construction. *Real Estate: Economics, Management.* 2022;1:13-18. <https://doi.org/10.22337/2073-8412-2022-1-13-18>. EDN: VJSJCW.
12. Kirilyuk S.A. Analysis of Current Trends in Development of Information Modeling Technologies TIM. *Vestnik nauki.* 2024;2(4):646-652. (In Russ.). EDN: XWUAJO.
13. Kurdyukov D., Manukovsky A., Ilunina A., Kurdyukov R. Information Modeling Technology Application in the Road Industry. In: *Proceedings Of The All-Russian Youth Interdisciplinary “Scientific And Practical Conference Science And Students – 2024”.* 03 September 2024, Voronezh. Voronezh, 2024. P. 102–107. [https://doi.org/10.58168/SAS\\_102-107](https://doi.org/10.58168/SAS_102-107).
14. Efimov S.V., Patornyak A.V., Chaplin I.V. Application of Information Modeling Technology in Developing a Bridge Repair Project. *FEFU: School of Engineering Bulletin.* 2024;3:113-121. (In Russ.). <https://doi.org/10.24866/2227-6858/2024-3/113-121>. EDN: DPKWBE.
15. Lysy S.P., Zabegalin A.V., Elkin G.V. Modeling in the Renga Program. *PGUAS Bulletin: Construction, Science and Education.* 2024;1:86-90. (In Russ.). EDN: CGANCL.
16. Lysy S.P., Zabegalin A.V., Elkin G.V. The Functionality of the Renga Program. *Obrazovanie i nauka v sovremennom mire. Innovatsii.* 2024;2:165-170. (In Russ.). EDN: RMVHTS.
17. Leygonie R., Motamedi A., Iordanova I. Development of Quality Improvement Procedures and Tools for Facility Management BIM. *Developments in the Built Environment.* 2022;11:1-16. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2022.100075>.
18. Svirgacheva O.A., Gerasenko V.A. Renga, a Domestic BIM System, is A Modern 3D Program for Designing Buildings and Structures. *Molodoi uchenyi.* 2023;18:68-69. (In Russ.). EDN: MCFBCJ.
19. Timoshenko T.A., Kurbatov V.L., Davzaryan G.S., Voronina M.E. Collaboration in Renga Software. *University Science.* 2023;2:74-80. (In Russ.). EDN: NLTHCL.
20. Tzu-Yi Chuang, Min-Jung Yang Change Component Identification of BIM Models for Facility Management Based On Time-Variant BIMs or Point Clouds. *Automation in Construction.* 2023;147:1-14. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104731>.
21. Chuchalina V.P., Chelnokov A.S. Application of Information Modeling Technology in Bridge Construction. In: *Fundamentalnye i prikladnye issledovaniya molodykh uchenykh. Sbornik materialov VIII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh, priurochennoi k prazdnovaniyu 300-letiya Rossiiskoi akademii nauk = Fundamental and Applied Research of Young Scientists. Collection of Proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates, and Young Scientists, Dedicated to the Celebration of the 300<sup>th</sup> Anniversary of the Russian Academy of Sciences.* 25–26 April 2024, Omsk. Omsk; 2024. P. 402–405. (In Russ.). EDN: AOXGCA.
22. Condotta M., Scanagatta C. BIM-Based Method to Inform Operation and Maintenance Phases through a Simplified Procedure. *Journal of Building Engineering.* 2023;65:1-13.

<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105730>.

23. Frolov M.V., Zlobin N.S., Bakhteev N.A. Information Modeling Technology and Problems in Its Implementation in the Curriculum of Construction Universities. *Dnevnik nauki*. 2022;8:1-10. (In Russ.). EDN: SOSHSO.

#### **Информация об авторах**

**Бадмаева Ирина Александровна**,  
инженер-проектировщик,  
ООО «ВостСибдорПроект»  
664081, г. Иркутск, ул. Иркутской 30 Дивизии, 6,  
Россия,  
e-mail: badmaeva.irina2016@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-1107-9995>

**Волкова Елена Викторовна**,  
к.г.н., доцент, доцент кафедры автомобильных  
дорог,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,  
✉e-mail: volkova\_elena13@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-4462-913X>  
Author ID: 163144

#### **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 11.08.2025.  
Одобрена после рецензирования 16.09.2025.  
Принята к публикации 03.10.2025.

#### **Information about the authors**

**Irina A. Badmaeva**,  
Design Engineer,  
LLC VostSibdorProject,  
6 Irkutskaya 30 Divisions St., Irkutsk 664081,  
Russia,  
e-mail: badmaeva.irina2016@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-1107-9995>

**Elena V. Volkova**,  
Cand. Sci. (Geog.), Associate Professor,  
Associate Professor of the Department  
of Highways,  
Irkutsk State Technical University,  
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,  
✉e-mail: volkova\_elena13@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-4462-913X>  
Author ID: 163144

#### **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 11.08.2025.  
Approved after reviewing 16.09.2025.  
Accepted for publication 03.10.2025.



## Рециклинг нефелинового шлама в эффективные сорбенты для глубокой очистки хромсодержащих сточных вод

А.Г. Бобрик<sup>1✉</sup>, А.И. Матюшенко<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

**Аннотация.** Целью данной работы является оценка потенциала нефелинового шлама, образующегося на Ачинском глиноземном комбинате, в качестве эффективного сорбента для очистки промышленных сточных вод от шестивалентного хрома (Cr(VI)). Проведены лабораторные эксперименты по изучению адсорбционной способности шлама. Определены химический состав и структура образцов методом рентгенофлуоресцентного и рентгенофазового анализа. Микроструктура оценена с помощью сканирующей электронной микроскопии. Рентгенофазовый анализ выявил, что основными компонентами шлама являются карбонат кальция и дикальцийсиликат. Отмечены высокие уровни дисперсности и щелочности материала. Электронная микроскопия показала пористую структуру шлама, обеспечивающую большую доступную поверхность для сорбции. Установлено, что термически обработанный нефелиновый шлам проявляет высокую сорбционную активность по отношению к ионам Cr(VI). Повышение температуры обработки увеличивает удельную поверхность материала и число активных центров, способствуя эффективному захвату и нейтрализации ионов хрома. Изменение pH среды также оказывает положительное влияние на процесс сорбции. Результаты испытаний показали, что использование шлама позволяет снизить концентрацию Cr(VI) до уровней, соответствующих нормативным требованиям по сбросу сточных вод в водные объекты. Использование этого отхода позволит снизить зависимость от импортных реагентов, уменьшить объемы складированных отходов и улучшить экологическую ситуацию в регионе. Пористая структура шлама обеспечивает эффективное взаимодействие с загрязняющими веществами. Таким образом, проведенные исследования подтверждают перспективность использования нефелинового шлама в качестве эффективного и экономически целесообразного сорбента для очистки промышленных сточных вод от шестивалентного хрома.

**Ключевые слова:** хромсодержащие сточные воды, гальваническое производство, сорбционные материалы, минеральные сорбенты, отходы промышленности

**Для цитирования:** Бобрик А.Г., Матюшенко А.И. Рециклинг нефелинового шлама в эффективные сорбенты для глубокой очистки хромсодержащих сточных вод // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 4. С. 655–665. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-4-655-665>. EDN: FALPNZ.

### Original article

## Recycling of nepheline sludge into effective sorbents for deep purification of chromium-containing wastewater

Anastasia G. Bobrik<sup>1✉</sup>, Anatoly I. Matyushenko<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Siberian Federal University, School of Engineering and Construction, Krasnoyarsk, Russia

**Abstract.** The purpose of this work is to evaluate the potential of nepheline sludge formed at the Achinsk Alumina Combine as an effective sorbent for industrial wastewater treatment from hexavalent chromium (Cr(VI)). Laboratory experiments have been conducted to study the adsorption capacity of sludge. The chemical composition and structure of the samples were determined by X-ray fluorescence and X-ray phase analysis. The microstructure is assessed using scanning electron microscopy. X-ray phase analysis revealed that the main components of the sludge are calcium carbonate and dicalcium silicate. High

levels of dispersion and alkalinity of the material are noted. Electron microscopy has shown a porous sludge structure providing a large available surface for sorption. It has been established that heat-treated nepheline sludge exhibits high sorption activity with respect to Cr(VI) ions. Increasing the processing temperature increases the specific surface area of the material and the number of active centers, contributing to the effective capture and neutralization of chromium ions. Changing the pH of the medium also has a positive effect on the sorption process. The test results showed that the use of sludge makes it possible to reduce the concentration of Cr(VI) to levels that meet the regulatory requirements for wastewater discharge into water bodies. The use of this waste will reduce dependence on imported reagents, reduce the volume of stored waste and improve the environmental situation in the region. The porous structure of the sludge ensures effective interaction with pollutants. Thus, the conducted studies confirm the prospects of using nepheline sludge as an effective and economically feasible sorbent for industrial wastewater treatment from hexavalent chromium.

**Keywords:** chromium-containing wastewater, electroplating production, sorption materials, mineral sorbents, industrial waste

**For citation:** Bobrik A.G., Matyushenko A.I. Recycling of nepheline sludge into effective sorbents for deep purification of chromium-containing wastewater. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2025;15(4):655-665. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-4-655-665>. EDN: FALPNZ.

## ВВЕДЕНИЕ

Красноярский край характеризуется богатыми природными ресурсами и высоким уровнем промышленного развития, что обеспечивает региону значительный экономический потенциал.

Вместе с тем интенсивное промышленное производство сопровождается серьезными экологическими проблемами, среди которых одной из наиболее острых является проблема утилизации отходов. Одним из крупнейших источников отходов в регионе выступает Ачинский глиноземный комбинат (АГК), производящий значительную долю твердых отходов Красноярского края.

По данным статистики, этот комбинат генерирует порядка 99 % от общего объема твердых отходов г. Ачинск, основным компонентом которого является нефелиновый шлам – побочный продукт производства глинозема [1]. Традиционный метод утилизации нефелинового шлама, такой как складирование на полигонах, оказывается малоэффективным и не решает проблему в долгосрочной перспективе. Более того, он требует значительных земельных ресурсов и создает риск дальнейшего загрязнения окружающей среды [2, 3].

В связи с этим возрастает актуальность разработки и внедрения инновационных технологий переработки и утилизации нефелинового шлама, позволяющая извлекать ценные компоненты и использовать их в различных отраслях промышленности [4, 5]. Сам по себе нефелиновый шлам обладает значительным содержанием полезных элементов, таких как оксиды кремния, алюминия, железа, натрия и

калия, что делает его сырьем для вторичной переработки. Его используют в производстве строительных материалов, таких как цемент, кирпич, керамическая плитка. Его также используют при создании дорожных покрытий и оснований дорог – добавляют в асфальтобетонные смеси для повышения износостойкости покрытия и т. д [6]. На сегодняшний день объемы переработки нефелинового шлама остаются недостаточными и составляют лишь около 500 тыс. тонн в год, тогда как общие запасы исчисляются миллионами тонн [1].

Сложившаяся ситуация представляет собой серьезный вызов для региональных властей и промышленных предприятий, требуя разработки комплексных стратегий и внедрения инновационных технологий в области переработки отходов [7]. Эффективная утилизация нефелинового шлама не только позволит снизить негативное воздействие на окружающую среду [8], но и откроет новые перспективы для развития экономики края. Таким образом, решение этой проблемы в Красноярском крае представляет собой сложную задачу, требующую скоординированных усилий со стороны органов власти, промышленных предприятий и научного сообщества. Одним из направлений рационального использования нефелинового шлама является его применение в области водоочистки [9, 10]. Проблема загрязнения водоемов тяжелыми металлами становится особенно острой ввиду расширения масштабов промышленного производства. Так, одной из ключевых проблем остается удаление шестивалентного хрома (Cr(VI)) из промышленных сточных вод [11, 12]. Шестивалентный хром,

используемый в металлургии, химической промышленности и производстве покрытий, способен накапливаться в водной среде и оказывать токсическое воздействие на организм человека и экосистемы в целом [13–15].

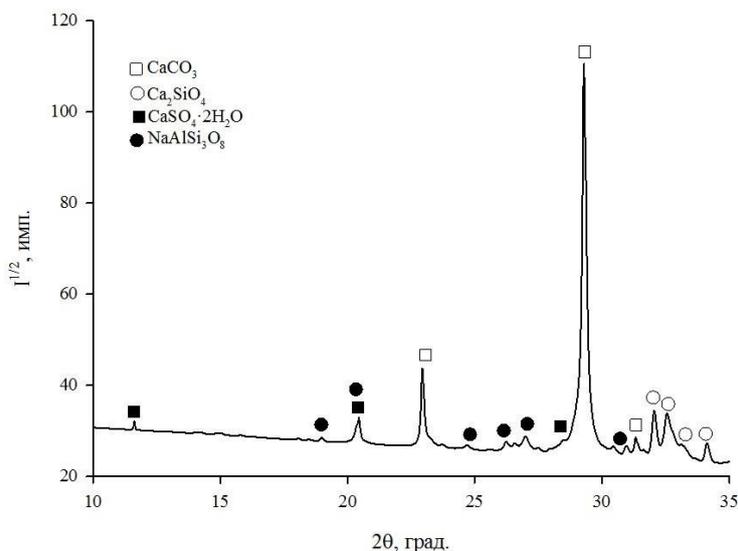
Современные подходы к удалению Cr(VI) включают различные физико-химические процессы, однако большинство традиционных методов обладают рядом недостатков: низкой эффективностью удаления загрязняющих веществ, высокими затратами энергии и сложностью эксплуатации оборудования [16, 17]. Это создает предпосылки для разработки новых инновационных решений, позволяющих снизить нагрузку на окружающую среду и обеспечить эффективную очистку промышленных сточных вод. В связи с этим, актуальным направлением является разработка и применение новых сорбционных материалов, обладающих высокой селективностью и эффективностью по отношению к Cr(VI). Нефелиновый шлак представляет собой перспективный сорбент благодаря своему химическому составу и пористой структуре. Основными компонентами нефелинового шлака являются гидросиликаты, алюминаты и карбонаты, способные вступать в реакции ионного обмена и комплексообразования с ионами Cr(VI) [1].

Целью настоящего исследования стало изучение возможности использования природного минерального ресурса, нефелинового шлака, для эффективного удаления шестивалентного хрома из сточных вод гальванической промышленности. Такой подход позволит существенно сократить объем накопленных отходов, повысить эффективность процесса очистки сточных вод и внести вклад в улучшение экологической ситуации региона. Таким образом, разработка инновационного сорбционного материала, полученного из отхода глиноземного комбината, позволяет решить сразу несколько задач. Во-первых, это снижает зависимость от импортных реагентов и способствует развитию региональной экономики. Во-вторых, использование побочных продуктов производства глинозема потенциально снижает стоимость процесса очистки по сравнению с традиционными методами, основанными на применении синтетических сорбентов.

#### МЕТОДЫ

Для достижения поставленной цели было проведено исследование для оценки потенциала нефелинового шлака, образовавшегося в результате производства глинозема на Ачинском глиноземном комбинате, в качестве эффективного сорбента для очистки промышленных сточных вод от ионов шестивалентного

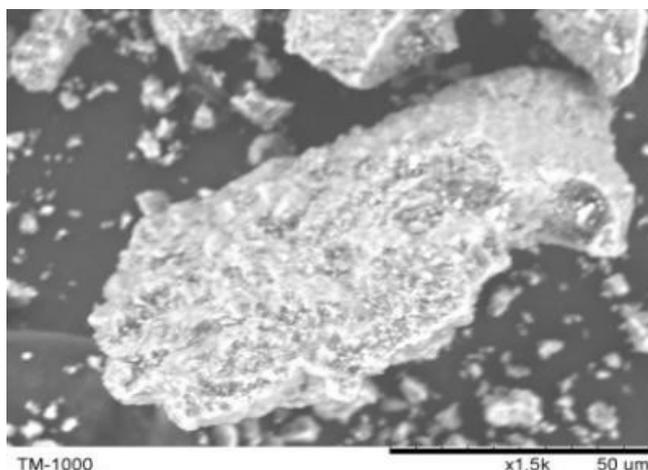
хрома (Cr(VI)), включающее лабораторные эксперименты по изучению адсорбционных свойств нефелиновых шламов. Анализируя существующие публикации и экспериментальные данные [18–25], можно сделать вывод, что использование природных минеральных соединений в качестве сорбентов имеет значительные преимущества перед традиционными материалами, такими как активированные угли, полимерные смолы и органические наполнители. Преимущества заключаются в доступности сырья, низком уровне энергопотребления и высоких показателях эффективности извлечения загрязнений. В ходе подготовки были отобраны образцы нефелинового шлака. Предварительно образцы проходили подготовку, включающую сушку при комнатной температуре и последующее тонкое измельчение в дробилке. Далее они были просеяны на ситах 0–0,315(1), 0,315–0,63(2), 0,63–1,25(3), 1,25–2,5(4) для выделения однородных фракций. Перед проведением исследований сорбционных характеристик было важно определить химический состав и структуру исследуемого материала. Изучение химического состава осуществлялось методом рентгенофлуоресцентного анализа, который позволил выявить содержание основных элементов, таких как SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O и K<sub>2</sub>O. Рентгенофазовый анализ был осуществлен с использованием дифрактометра модели D8- ADVANCE производства компании Bruker, работающем в монохроматическом CuKα-излучении (λ=1,54 Å). Были зарегистрированы характерные рефлексы, соответствующие карбонату кальция (CaCO<sub>3</sub>) и дикальцийсиликату (белиту/ларниту, Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>), являющимся доминирующими компонентами шлака. Присутствие небольшого количества ранкинита (Ca<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) подтверждено дополнительными характеристиками рентгенограммы. Полученные данные представлены в графической форме (рис. 1), иллюстрирующей состав исследуемого нефелинового шлака. В составе шлака зафиксировано присутствие слабых дифракционных линий, соответствующих соде, а именно термонатриту. Анализ структуры кристаллических фаз выявил высокие уровни дисперсности и мелкокристалличности, что способствует ускоренному взаимодействию и образованию новых поверхностных комплексов, повышающих сорбционную емкость материала. Важно отметить, что нефелиновый шлак характеризуется высоким уровнем щелочности, что свидетельствует о значительной нейтрализующей способности данных отходов Ачинского глиноземного комбината.



**Рис. 1. Диффрактограмма нефелинового шлама**  
**Fig. 1. Diffraction pattern of nepheline sludge**

Научно-исследовательская лаборатория Центра коллективного пользования Сибирского федерального университета специализируется на проведении комплексных анализов материалов различного происхождения. В рамках данной работы проводилось подробное электронно-микроскопическое исследование нефелинового шлама, предназначенного для оценки его потенциальных качеств как сорбента для очистки промышленных сточных вод. Использование современного сканирующего электронного микроскопа позволило получить уникальные электронные снимки (рис. 2), дающие полное представление о структуре и характеристиках поверхности материала. Полученные изображения демонстрируют подробную микроструктуру, указывая на важную особенность – пористую природу материала. Такая структура играет решающую

роль в увеличении общей доступной поверхности, обеспечивая максимальное взаимодействие между материалом и молекулами растворенных веществ. Исследования показали, что средний размер частиц нефелинового шлама находится в пределах приблизительно 5 мкм. Небольшой размер частиц облегчает проникновение ионных соединений внутрь материала, что значительно ускоряет процесс сорбции и способствует повышению эффективности очистки. Поверхность материала покрыта множеством небольших трещин и пор, создавая оптимальные условия для проникновения молекул растворенных ионов внутрь структуры. Подобная структура образует своего рода лабиринты, способствующие лучшему взаимодействию сорбента с растворенными соединениями, повышая общую емкость материала для захвата загрязнений.



**Рис. 2. Микроструктура частиц нефелинового шлама**  
**Fig. 2. Microstructure of nepheline slurry particles**

Проведенное исследование продемонстрировало значительную открытость и рыхлость поверхности, что объясняется особенностями молекулярной структуры самого материала. Открытая структура создает идеальное условие для быстрого распространения и фиксации растворенных примесей, улучшая общий эффект сорбции [26, 27].

Таким образом, электронно-микроскопическое исследование подтверждает перспективность использования нефелинового шлама в качестве экономически целесообразного и экологически безопасного сорбента для очистки промышленных сточных вод.

### **РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Природный карбонат кальция известен своей способностью к адсорбции, что позволяет ему извлекать ионы цветных и тяжелых металлов из водных сред [28, 29]. Механизмы адсорбции на поверхности карбоната кальция характеризуются формированием особых сложнорастворимых соединений, таких как гидроксидные формы и основные соли, а также карбонатные и гидроксокарбонатные комплексы тяжелых металлов [30]. Именно эта особенность придает карбонату кальция особое значение в области очищения сточных вод от вредных примесей. Удаление тяжелых металлов осуществляется за счет специфических реакций ионного обмена [32], в которых атомы металла замещают катионы кальция в структуре минерала. В результате такого обмена формируется новый твердый осадок, представляющий собой сложную смесь солей и гидроксокомплексов.

Процесс сопровождается постепенной заменой ионов кальция ионами тяжелых металлов, вызывая рекристаллизацию карбоната кальция и формирование стабильных, практически нерастворимых осадков, закрепляющих вредные вещества внутри твердой матрицы.

Адсорбционные свойства карбоната кальция обусловлены наличием на его поверхности многочисленных активных центров, способных притягивать и удерживать металлические ионы, обеспечивая надежное и быстрое удаление токсичных примесей из жидких сред [31, 32]. Помимо непосредственного адсорбирования, важное значение имеют также процессы образования межфазных барьеров, препятствующих высвобождению металлов обратно в раствор.

Следовательно, именно сочетание уникальных физических и химических свойств карбоната кальция определяет его исключительную пригодность в качестве высокопроизводительного сорбента для глубокой очистки воды от широкого спектра ионов тяжелых и цветных

металлов и обеспечения устойчивого уровня защиты окружающей среды и здоровья населения.

Сорбционная активность разрабатываемых материалов была изучена в лабораторных условиях с применением современных аналитических приборов и оборудования, позволяющего точно измерять показатели сорбции и анализировать структуру поверхности образцов.

Изученный исследовательский опыт показывает, что предварительная обработка нефелинового шлама, такая как активация кислотами или термическая обработка, может значительно улучшить его сорбционные свойства. Активация приводит к увеличению удельной поверхности материала и образованию активных центров, способных эффективно связывать ионы Cr(VI).

Кроме того, модификация нефелинового шлама различными реагентами, например органическими аминами, позволяет повысить его селективность по отношению к Cr(VI) в присутствии других загрязняющих веществ.

В данной работе с целью повышения сорбционной активности и оптимизации эксплуатационных характеристик проводилась термическая активация сорбента, изготовленного из нефелинового шлама.

Полученные данные рентгенофазового анализа и атомно-эмиссионной спектроскопии позволили установить преобладание алюмосиликатных фаз, что обусловило выбор термической активации как метода модификации структуры.

Процесс термической активации осуществлялся в муфельной печи при температуре 1000 °С и продолжительностью выдержки один час.

После активации сорбента был проведен лабораторный эксперимент по оценке эффективности очистки сточной воды, содержащей ионы шестивалентного хрома (Cr(VI)). Исследование проводилось с использованием модельного раствора, соответствующего условиям реальных промышленных процессов, чтобы обеспечить максимальную репрезентативность результатов.

Концентрации ионов хрома измерялись с помощью спектрофотометрии и атомно-абсорбционной спектроскопии как до начала процесса сорбции, так и после завершения эксперимента. Перед началом опытов вода имела определенную начальную концентрацию ионов Cr(VI), соответствующую уровню загрязнений, характерному для гальванических производств.

Результаты представлены в таблице.

Результаты очистки хромсодержащих стоков сорбентом, полученным из нефелинового шлама  
Results of chromium-containing wastewater treatment using a sorbent obtained from nepheline sludge

Фракция сорбента	$C_{исх}^{Cr^{6+}}$ , мг/дм <sup>3</sup>	pH <sub>исх</sub>	$C_{ост}^{Cr^{3+}}$ , мг/дм <sup>3</sup>	pH <sub>ост</sub>
0,00	60	2,659	0,0704	11,83
0,16	60	2,659	0,2412	11,82
0,315	60	2,659	0,0956	11,81
0,63	60	2,659	0,2876	11,86

Полученные результаты подтвердили высокую способность сорбентов, полученных из нефелинового шлама, эффективно очищать воду.

Определение качественного и количественного состава загрязняющих веществ, содержащихся как в исходной воде, так и в фильтрате после прохождения через сорбент, проводилось с использованием комплекса стандартных методов химического анализа.

Применяемые методы позволяли получить точные и надежные данные о природе и концентрации примесей, влияющих на эффективность процесса очистки.

Повышение значений pH, после сорбционной очистки хромсодержащих сточных вод термически обработанным нефелиновым шламом, объясняется несколькими важными причинами: во-первых, термическая обработка нефелинового шлама вызывает изменения в его кристаллической решетке и активирует поверхность материала, делая его более пористым и увеличивая площадь соприкосновения с водой.

Основной причиной повышения pH является наличие щелочных и щелочноземельных элементов (например, оксида кальция CaO, оксида магния MgO) в составе шлама. После термообработки эти вещества вступают в реакцию с водой, выделяя гидроксид-ионы (OH<sup>-</sup>).

Во-вторых, во время сорбции ионов шестивалентного хрома (CrVI) на поверхности нефелинового шлама происходят химические реакции, сопровождающиеся обменом ионами водорода (H<sup>+</sup>) на катионные группы (такие как кальций, магний).

Часть протонов (H<sup>+</sup>), присутствующих в водном растворе, нейтрализуются активными центрами сорбента, что также способствует росту pH.

Неконтролируемые поверхностные реакции на активных центрах обработанного шлама приводят к освобождению свободных гидроксид-ионов (OH<sup>-</sup>), взаимодействующих с водой и уменьшающих концентрацию кислотных

ионов (H<sup>+</sup>). Это явление называется буферизацией среды и характерно для многих минеральных сорбентов, используемых в практике водоочистки. Эти факторы обеспечивают эффективное изменение pH среды, что важно учитывать при проектировании и внедрении технологий очистки сточных вод с использованием термически обработанного нефелинового шлама.

Результат глубокой сорбционной очистки хромсодержащих сточных вод термически обработанным нефелиновым шламом обусловлен несколькими взаимосвязанными факторами:

1. Тепловая обработка нефелинового шлама вызывает фазовые превращения и реструктуризацию материала. Происходит дегидратация, декомпозиция карбонатов и аморфизация минерала, что приводит к образованию активной пористой структуры с развитой удельной площадью поверхности. Образование мезо- и макропор облегчает проникновение ионов хрома внутрь гранул шлама, обеспечивая более полное взаимодействие и усиленную сорбцию.

2. После термического нагрева образуется большое количество активных центров на поверхности шлама, таких как кислородные анионы и свободные радикалы. Эти центры способны притягивать и удерживать положительно заряженные ионы хрома, создавая прочные связи типа ионного обмена или хемосорбции. Дополнительно образуются гидроксидные комплексы, участвующие в образовании координационных связей с ионами хрома.

3. Природная щелочность обрабатываемого шлама (наличие кальция, магния, натрия) смягчает неблагоприятные эффекты кислой среды, характерные для хромсодержащих сточных вод. Щелочь, выделяемая в ходе реакций, нейтрализует избыток ионов водорода, поддерживая оптимальный диапазон pH для максимальной сорбции.

Высокая эффективность сорбционной очистки хромсодержащих сточных вод предварительно активированного сорбента обусловлена совместным действием изменений в

структуре и морфологии материала, наличием большого числа активных центров, сильными межмолекулярными взаимодействиями и благоприятным влиянием теплового преобразования на физические и химические свойства шлама.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Подводя итог проведенным исследованиям, можно уверенно утверждать, что использование отходов, богатых кальцием, таких как нефелиновый шлам, возникший в процессе добычи и переработки нефелиновых руд, представляет собой одно из наиболее перспективных решений в области разработки дешевых и надежных методов очистки промышленных сточных вод, содержащих опасные химические вещества, в первую очередь шестивалентный хром (Cr(VI)).

Преимущество предлагаемого подхода заключается в наличии огромных объемов нефелинового шлама, остающегося в виде побочных продуктов на предприятиях глиноземной промышленности. Активное вовлечение этих отходов в производство сорбентов решает сразу несколько важных задач. Во-первых, решается проблема накопления больших объемов шлама, что снижает нагрузку на окружающую среду и уменьшает затраты на утилизацию. Во-вторых, создаются принципиально новые способы очистки сточных вод, доступные для массового внедрения и способные существенно уменьшить уровень опасности сбрасываемых в окружающую среду стоков.

Предложенная методика очистки основывается на принципах сорбции ионообменных процессов, где активное участие принимает кальций, содержащийся в структуре шлама. Кальций вступает в реакцию с ионами хрома, образуя малорастворимые и прочные соединения, эффективно устраняя загрязнение из водного потока.

Применение подобного сорбента оказывается эффективным не только с точки зрения технического результата, но и экономической выгоды, поскольку стоимость изготовления такого сорбента невелика, а сам процесс доступен для любого производственного предприятия.

Особое внимание применению такого подхода следует уделить предприятиям, расположенным в регионах с высоким уровнем развития горнорудной и добывающей отраслей, где опасность загрязнения водных ресурсов особенно велика.

Широкомасштабное внедрение подобной технологии способно значительно улучшить ситуацию с качеством воды, снизив риск попадания токсичных веществ в реки и водоемы, защищая как экосистемы, так и здоровье жителей прилегающих территорий.

Таким образом, данное исследование демонстрирует огромный потенциал нефелинового шлама как основного компонента экологически чистого и экономически оправданного способа борьбы с опасным загрязнением водных ресурсов.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Степанова М.Л., Маркелов Н.А., Гафаров М.Ш., Мейланова М.Н., Васильева М.Н., Никифорова Э.М. и др. Комплексное использование нефелинового шлама в производстве строительных материалов // *Современные наукоемкие технологии*. 2019. № 3-1. С. 77–82. EDN: ZLEZPF.
2. Самигуллина Л.М. Современные технологии утилизации нефтешламов // *Молодой ученый*. 2022. № 22. С. 616–618. EDN: AJNQYD.
3. Афанасьев С.В., Кравцова М.В., Паис М.А., Носарев Н.С. Анализ методов переработки нефтешламов. Проблемы и решения // *Инновации и «зеленые» технологии*. Вторая Всеросс. науч.-практ. конф. (г. Тольятти, 19 апреля 2019 г.). Тольятти, 2019. С. 22–27. EDN: ZGEORU.
4. Шепелев И.И., Бочков Н.Н., Головных Н.В., Сахачев А.Ю. Химико-технологические особенности ресурсосберегающих процессов при утилизации твердых отходов металлургического производства // *Известия высших учебных заведений. Серия: химия и химическая технология*. 2015. Т. 58. № 1. С. 81–86. EDN: TOUH XV.
5. Шепелев И.И., Сахачев А.Ю., Александров А.В., Головных Н.В., Жижаяев А.М., Алгебраистова Н.К. Технологические испытания процессов спекания и выщелачивания нефелиновых шихт со шлаком ферротитанового производства // *Естественные и технические науки*. 2017. № 10. С. 80–84. EDN: ZRZ WHD.
6. Шепелев И.И., Жижаяев А.М., Бочков Н.Н. Применение отходов глиноземного производства с целью улучшения эксплуатационных свойств дорожных смесей // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2015. № 1. С. 182–193. EDN: THSFNR.
7. Закупень Т.В. Институциональные основы и перспективы формирования промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства в рамках концепции устойчивого развития экономики // *Экономика, предпринимательство и право*. 2023. Т. 13. № 6. С. 1943–1962. <https://doi.org/10.18334/epp.13.6.117836>. EDN: WIGL GK.

8. Бурматова О.П. Экологические вызовы в регионах: анализ, пути предотвращения рисков и снижения угроз // Экономика региона. 2021. Т. 17. № 1. С. 249–261. <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2021-1-19>. EDN: UFYYJD.
9. Карачева М.А. Тяжелые металлы как фактор загрязнения вод (обзор) // Исследования молодых ученых. Материалы XLIX Междунар. науч. конф. (г. Казань, 20–23 декабря 2022 г.). Казань, 2022. С. 5–7. EDN: TTCDFJ.
10. Петухова Ю.Н., Ильина С.И., Фурсенко А.В., Носырев М.А. Очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов с помощью сорбентов // Евразийский союз ученых. 2019. № 7. С. 51–54. <https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2019.6.64.254>.
11. Власенко Д.А. Новый тип сорбента на основе лигнина и винилиденхлорида для очистки сточных вод от соединений тяжелых металлов // Химия и химическая технология в XXI веке. Материалы XX Междунар. науч.-практ. конф. им. профессора Л.П. Кулева студентов и молодых ученых (г. Томск, 20–23 мая 2019 г.). Томск, 2019. С. 455–456. EDN: JSAGKC.
12. Jin Yang, Peng Jiang, Meimei Zheng, Jieyu Zhou, Xiao Liu Investigating the Influencing Factors of Incentive-Based Household Waste Recycling Using Structural Equation Modelling // Waste Management. 2022. Vol. 142. P. 120–131. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.02.014>.
13. Sharma P., Singh S.P., Parakh S.K., Yen Wah Tong Health Hazards of Hexavalent Chromium (Cr (VI)) and Its Microbial Reduction // Bioengineered. 2022. Vol. 13. Iss. 3. P. 4923–4938. <https://doi.org/10.1080/21655979.2022.2037273>.
14. Udriu I., Sgura A., Vignoli L., Bologna M.A., D'Amen M., Salvi D. et al. Micronucleus Test on Triturus Carnifex as a Tool for Environmental Biomonitoring // Environmental and Molecular Mutagenesis. 2015. Vol. 56. Iss. 4. P. 412–417. <https://doi.org/10.1002/em.21914>.
15. Ferrier V., Gauthier L., Zoll-Moreux C., L'Haridon J. Genotoxicity Tests in Amphibians – A Review // Microscale Testing in Aquatic Toxicology. Florida: CRC Press, 1997. P. 507–519. <https://doi.org/10.1201/9780203747193-35>.
16. Мамедова Р.И., Чантаева А.С. Влияние хрома (VI) на окружающую среду и здоровье: технологии очистки сточных вод // Вестник науки. 2024. Т. 3. № 11. С. 1301–1309. EDN: TRNMGF.
17. Печищева Н.В., Ординарцев Д.П., Валеева А.А., Зайцева П.В., Коробицына А.Д., Сушникова А.А. и др. Адсорбция Cr(VI) наноразмерным рутилом под действием ультрафиолетового излучения // Журнал физической химии. 2023. Т. 97. № 2. С. 279–284. <https://doi.org/10.31857/S0044453723020206>. EDN: EJXZIO.
18. Teutli-Sequeira A., Solache-Rios M., Martinez-Miranda V., Linares-Hernandez I. Comparison of Aluminum Modified Natural Materials in the Removal of Fluoride Ions // Journal of Colloid and Interface Science. 2014. Vol. 418. P. 254–260. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2013.12.020>.
19. Bo Liu, Junxiang Lu, Yu Xie, Bin Yang, Xiaoying Wang, Runcang Sun Microwave-Assisted Modification on Montmorillonite with Ester-Containing Gemini Surfactant and its Adsorption Behavior for Triclosan // Journal of Colloid and Interface Science. 2014. Vol. 418. P. 311–316. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2013.12.035>.
20. Шубин И.Л., Бакаева Н.В., Калайдо А.В. Перспективы использования природных минеральных сорбентов в водоочистке и водоподготовке // Экология урбанизированных территорий. 2025. № 1. С. 96–103. <https://doi.org/10.24412/1816-1863-2025-1-96-103>. EDN: IOBGRO.
21. Федорова С.А., Магдыч Е.А., Акимов А.М., Кравчук А.А. Очистка сточных вод от ионов никеля (II) термически модифицированными природными сорбентами // Энергетические установки и технологии. 2020. Т. 6. № 4. С. 124–130. EDN: GXCFHM.
22. Saleh T.A. Protocols for Synthesis of Nanomaterials, Polymers, and Green Materials as Adsorbents for Water Treatment Technologies // Environmental Technology & Innovation. 2021. Vol. 24. P. 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101821>.
23. Jain A., Kumari S., Agarwal S., Khan S. Water Purification via Novel Nano-Adsorbents and Their Regeneration Strategies // Process Safety and Environmental Protection. 2021. Vol. 152. P. 441–454. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.06.031>.
24. Da Liu, Wenyi Gu, Liang Zhou, Lingzhi Wang, Jinlong Zhang, Yongdi Liu et al. Recent Advances in MOF-Derived Carbon-Based Nanomaterials for Environmental Applications in Adsorption and Catalytic Degradation // Chemical Engineering Journal. 2022. Vol. 427. P. 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.131503>.
25. Choudhary V., Vellingiri K., Philip L. Potential Nanomaterials-Based Detection and Treatment Methods for Aqueous Chloroform // Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management. 2021. Vol. 16. P. 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100487>.
26. Дударев В.И., Кокконова Ю.И., Дударев Д.И. Изучение пористой структуры углеродных сорбентов // Графен и родственные структуры: синтез, производство и применение. Электронный ресурс. Материалы V Междунар. науч.-практ. конф. (г. Тамбов, 12–13 октября 2023 г.). Тамбов, 2023. С. 408–411. EDN: LMFTPY.

27. Левшенков В.Н., Волочаева И.А. Рентгеноспектральный флуоресцентный анализ состава вещества // Инновационные направления развития в образовании, экономике, технике и технологиях. Национальная с междунар. участием науч.-практ. конф., посвященная 25-летию Технологического института сервиса (филиала) ДГТУ в г. Ставрополе (г. Ставрополь, 04–05 июня 2024 г.). Ставрополь, 2024. С. 508–511. EDN: GFNWBL.
28. Кукуверова В.С., Кондрашова А.В. Адсорбционные исследования природного сорбента // Инновационное развитие сельского хозяйства и актуальные подходы к подготовке кадров для АПК. Сб. статей V национальной науч.-практ. конф. (г. Саратов, 18 августа 2023 г.). Саратов, 2023. С. 107–111. EDN: YOGEAO.
29. Шершнева М.В. Современные сорбенты для очистки поверхностных и сточных вод от ионов тяжелых металлов // Естественные и технические науки. 2024. № 9. С. 54–56. EDN: UXKUOW.
30. Воронова М.И., Суров О.В., Лебедева Е.О., Рублева Н.В., Афинеевский А.В., Захаров А.Г. Минерализация карбоната кальция в композитах поликапролактона с нанокристаллической целлюлозой: структура, морфология и сорбционные свойства // Журнал неорганической химии. 2021. Т. 66. № 12. С. 1779–1791. <https://doi.org/10.31857/S0044457X21120217>. EDN: OOZPUO.
31. Морозова А.Г., Лонзингер Т.М., Скотников В.А., Судариков М.В., Лонзингер П.В., Морозов А.П. Влияние химической предыстории сорбента-минерализатора на процесс его карбонизации в водных средах // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Химия. 2023. Т. 15. № 2. С. 116–124. <https://doi.org/10.14529/chem230211>. EDN: RTIVHK.
32. Лонзингер Т.М., Морозова А.Г. Неорганические сорбенты для очистки воды на основе алюмосиликатов магния и кальция // Современные материалы и методы решения экологических проблем постиндустриальной агломерации. Сб. материалов I Всеросс. науч.-практ. конф. Челябинск: Южно-Уральский государственный университет, 2024. С. 70–75. EDN: JZJRDL.

## REFERENCES

1. Stepanova M.L., Markelov N.A., Gafarov M.Sh., Meylanova M.N., Vasileva M.N., Nikiforova E.M. et al. Complex Use of Nepheline Sludge in the Production of Building Materials. *Modern High Technologies*. 2019;3-1:77-82. (In Russ.). EDN: ZLEZPF.
2. Samigullina L.M. Modern Technologies for Oil Sludge Disposal. *Molodoi uchenyi*. 2022;22:616-618. (In Russ.). EDN: AJNQYD.
3. Afanasyev S.V., Kravtsova M.V., Pais M.A., Nosarev N.S. Analysis of Methods Processing of Oil Hits. Problems and Solutions. In: *Innovatsii i «zelenye» tekhnologii. Vtoraya Vserossiiskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya = Innovations and Green Technologies. Second All-Russian Scientific and Practical Conference*. 19 April 2019, Tolyatti. Tolyatti; 2019. P. 22–27. (In Russ.). EDN: ZGEORU.
4. Shepelev I.I., Bochkov N.N., Golovnykh N.V., Sakhachev A.Yu. Chemical and Technological Features of Resource-Saving Processes in the Disposal of Solid Waste from Metallurgical Production. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Seriya: khimiya i khimicheskaya tekhnologiya*. 2015;58(1):81-86. (In Russ.). EDN: TOUH XV.
5. Shepelev I.I., Sakhachev A.Yu., Aleksandrov A.V., Golovnykh N.V., Zhizhaev A.M., Algebraistova N.K. Technological Testing of the Processes of Sintering and Leaching Nepheline Batches with Slag from Ferrotitanium Production. *Natural and Technical Sciences*. 2017;10:80-84. (In Russ.). EDN: ZRZWH D.
6. Shepelev I.I., Zhizhaev A.M., Bochkov N.N. Alumina Production Waste Used to Improve Inorganic Cement Service Properties. *Journal of Construction and Architecture*. 2015;1:182-193. (In Russ.). EDN: THSFNR.
7. Zakupen T.V. Institutional Framework and Perspectives of the Industry for Processing, Recycling and Neutralization of Industrial Waste within Sustainable Economic Development. *Journal of Economics, Entrepreneurship and Law*. 2023;13(6):1943-1962. (In Russ.). <https://doi.org/10.18334/epp.13.6.117836>. EDN: WIGLGK.
8. Burmatova O.P. Environmental Challenges in Regions: Analysis and Measures to Reduce Potential Risks. *Economy of Region*. 2021;17(1):249-261. (In Russ.). <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2021-1-19>. EDN: UFYYJD.
9. Karacheva M.A. Heavy Metals as a Factor in Water Pollution (Review). In: *Issledovaniya molodykh uchenykh. Materialy XLIX Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii = Research of Young Scientists. Proceedings of the XLIX International Scientific Conference*. 20–23 December 2022, Kazan. Kazan; 2022. P. 5–7. (In Russ.). EDN: TTCDFJ.
10. Petukhova Yu.N., Ilyina S.I., Fursenko A.V., Nosyrev M.A. Purification of Wastewater from Heavy Metal Ions Using Sorbents. *Eurasian Union of Scientists*. 2019;7:51-54. (In Russ.). <https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2019.6.64.254>.
11. Vlasenko D.A. A New Type of Sorbent Based on Lignin and Vinylidene Chloride for Wastewater Treatment from Heavy Metal Compounds. In: *Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya v XXI veke. Materialy XX Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii imeni professora L.P. Kuleva studentov i molodykh uchenykh = Chemistry and Chemical Technology in the XXI Century. Proceedings of the XX International scientific and*

*Practical Conference named after Professor L.P. Kulev of Students and Young Scientists.* 20–23 May 2019, Tomsk. Tomsk; 2019. P. 455–456. (In Russ.). EDN: JSAGKC.

12. Jin Yang, Peng Jiang, Meimei Zheng, Jieyu Zhou, Xiao Liu Investigating the Influencing Factors of Incentive-Based Household Waste Recycling Using Structural Equation Modelling. *Waste Management*. 2022;142:120-131. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.02.014>.

13. Sharma P., Singh S.P., Parakh S.K., Yen Wah Tong Health Hazards of Hexavalent Chromium (Cr (VI)) and Its Microbial Reduction. *Bioengineered*. 2022;13(3):4923-4938. <https://doi.org/10.1080/21655979.2022.2037273>.

14. Udriou I., Sgura A., Vignoli L., Bologna M.A., D'Amen M., Salvi D. et al. Micronucleus Test on *Triturus Carnifex* as a Tool for Environmental Biomonitoring. *Environmental and Molecular Mutagenesis*. 2015;56(4):412-417. <https://doi.org/10.1002/em.21914>.

15. Ferrier V., Gauthier L., Zoll-Moreux C., L'Haridon J. Genotoxicity Tests in Amphibians – A Review. *Microscale Testing in Aquatic Toxicology*. Florida: CRC Press, 1997. P. 507–519. <https://doi.org/10.1201/9780203747193-35>.

16. Mammadova R.I., Chantayeva A.S. Effects Of Chromium (VI) On Environment and Health: Wastewater Treatment Technologies. *Vestnik nauki*. 2024;3(11):1301-1309. (In Russ.). EDN: TRNMGF.

17. Pechishcheva N.V., Ordinartsev D.P., Valeeva A.A., Zaitseva P.V., Korobitsyna A.D., Sushnikova A.A. et al. Adsorption of Cr(VI) by Nanosized Rutile under Ultraviolet Irradiation. *Zhurnal fizicheskoi khimii*. 2023;97(2):279-284. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0044453723020206>. EDN: EJXZIO.

18. Teutli-Sequeira A., Solache-Rios M., Martinez-Miranda V., Linares-Hernandez I. Comparison of Aluminum Modified Natural Materials in the Removal of Fluoride Ions. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2014;418:254-260. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2013.12.020>.

19. Bo Liu, Junxiang Lu, Yu Xie, Bin Yang, Xiaoying Wang, Runcang Sun Microwave-Assisted Modification on Montmorillonite with Ester-Containing Gemini Surfactant and its Adsorption Behavior for Triclosan. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2014;418:311-316. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2013.12.035>.

20. Shubin I.L., Bakaeva N.V., Kalaydo A.V. Prospects for Using Natural Mineral Sorbents in Water Treatment. *Ecology of Urban Areas*. 2025;1:96-103. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/1816-1863-2025-1-96-103>. EDN: IOBGRO.

21. Fedorova S.A., Magdych E.A., Akimov A.M., Kravchuk A.A. Purification of Waste Water from Nickel Ions (II) by Thermally Modified Natural Sorbents. *Ehnergeticheskie ustanovki i tekhnologii*. 2020;6(4):124-130. (In Russ.). EDN: GXCFHM.

22. Saleh T.A. Protocols for Synthesis of Nanomaterials, Polymers, and Green Materials as Adsorbents for Water Treatment Technologies. *Environmental Technology & Innovation*. 2021;24:1-18. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101821>.

23. Jain A., Kumari S., Agarwal S., Khan S. Water Purification via Novel Nano-Adsorbents and Their Regeneration Strategies. *Process Safety and Environmental Protection*. 2021;152:441-454. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.06.031>.

24. Da Liu, Wenyi Gu, Liang Zhou, Lingzhi Wang, Jinlong Zhang, Yongdi Liu et al. Recent Advances in MOF-Derived Carbon-Based Nanomaterials for Environmental Applications in Adsorption and Catalytic Degradation. *Chemical Engineering Journal*. 2022;427:1-19. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.131503>.

25. Choudhary V., Vellingiri K., Philip L. Potential Nanomaterials-Based Detection and Treatment Methods for Aqueous Chloroform. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*. 2021;16:1-20. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100487>.

26. Dudarev V.I., Kokonova U.I., Dudarev D.I. Study of the Porous Structure of Carbon Sorbents. In: *Grafen i rodstvennye struktury: sintez, proizvodstvo i primenenie. Ehlektronnyi resurs. Materialy V Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Graphene and Related Structures: Synthesis, Production, and Application. Electronic resource. Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference*. 12–13 October 2023, Tambov. Tambov; 2023. P. 408–411. (In Russ.). EDN: LMFTPY.

27. Levshenkov V.N., Volochaeva I.A. X-Ray Spectral Fluorescence Analysis of the Composition of the Substance. In: *Innovatsionnye napravleniya razvitiya v obrazovanii, ehkonomie, tekhnike i tekhnologiyakh. Natsionalnaya s mezhdunarodnym uchastiem nauchno-prakticheskaya konferentsiya, posvyashchennaya 25-letiyu Tekhnologicheskogo instituta servisa (filiala) DGTU v g. Stavropole = Innovative Development Trends in Education, Economics, Engineering, and Technology. National Scientific and Practical Conference with International Participation Dedicated to the 25<sup>th</sup> Anniversary of the Technological Institute of Service (Branch) of DSTU in Stavropol*. 04–05 June 2024, Stavropol. Stavropol; 2024. P. 508–511. (In Russ.). EDN: GFNWBL.

28. Kukoverova V.S., Kondrashova A.V. Adsorption Investigations of Natural Sorbent. In: *Innovatsionnoe razvitie selskogo khozyaistva i aktualnye podkhody k podgotovke kadrov dlya APK. Sbornik statei V natsional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Innovative Development of Agriculture and Current Approaches to Training Personnel for the Agro-Industrial Complex. Collection of Articles from the V National Scientific and Practical Conference*. 18 August 2023, Saratov. Saratov; 2023. P. 107–111. (In Russ.). EDN: YOGEO.

29. Shershneva M.V. Modern Sorbents for Purification of Surface and Waste Water from Heavy Metal Ions. *Natural and Technical Sciences*. 2024;9:54-56. (In Russ.). EDN: UXKUOW.
30. Voronova M.I., Surov O.V., Rubleva N.V., Zakharov A.G., Lebedeva E.O., Afineevskii A.V. Calcium Carbonate Mineralization in Polycaprolactone Composites with Nanocrystalline Cellulose: Structure, Morphology, and Adsorption Properties. *Russian Journal of Inorganic Chemistry*. 2021;66(12):1779-1791. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0044457X21120217>. EDN: OozPUO.
31. Morozova A.G., Lonzingier T.M., Skotnikov V.A., Sudarikov M.V., Lonzingier P.V., Morozov A.P. Influence of the Chemical Prehistory of the Sorbent-Mineralizer on the Process of its Carbonization in Aqueous Environments. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Chemistry*. 2023;15(2):116-124. (In Russ.). <https://doi.org/10.14529/chem230211>. EDN: RTIVHK.
32. Lonzingier T.M., Morozova A.G. Inorganic Sorbents for Water Purification Based on Magnesium and Calcium Aluminosilicates. In: *Modern Materials and Methods for Solving Environmental Problems of Post-Industrial Agglomeration. Collection of Materials from the 1<sup>st</sup> All-Russian Scientific and Practical Conference*. Chelyabinsk: South Ural State University, 2024. P. 70–75. (In Russ.). EDN: JZJRD.

### Информация об авторах

**Бобрик Анастасия Геннадьевна**,  
старший преподаватель кафедры инженерных систем зданий и сооружений,  
Сибирский федеральный университет,  
Инженерно-строительный институт,  
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 82,  
Россия,  
✉ e-mail: abobrik@sfu-kras.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-7020-9924>  
Author ID: 883848

**Матюшенко Анатолий Иванович**,  
д.т.н, профессор, заведующий кафедрой инженерных систем зданий и сооружений,  
Сибирский федеральный университет,  
Инженерно-строительный институт,  
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 82,  
Россия,  
e-mail: amatyushenko@sfu-kras.ru  
<https://orcid.org/0009-0004-3182-5838>  
Author ID: 380200

### 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 03.09.2025.  
Одобрена после рецензирования 06.10.2025.  
Принята к публикации 20.10.2025.

### Information about the authors

**Anastasia G. Bobrik**,  
Senior Lecturer at the Department of Engineering Systems of Buildings and Structures,  
Siberian Federal University,  
School of Engineering and Construction,  
82 Svobodny Ave., Krasnoyarsk 660041,  
Russia,  
✉ e-mail: abobrik@sfu-kras.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-7020-9924>  
Author ID: 883848

**Anatoly I. Matyushenko**,  
Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Department of Engineering Systems of Buildings and Structures,  
Siberian Federal University,  
School of Engineering and Construction,  
82 Svobodny Ave., Krasnoyarsk 660041,  
Russia,  
e-mail: amatyushenko@sfu-kras.ru  
<https://orcid.org/0009-0004-3182-5838>  
Author ID: 380200

### 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 03.09.2025.  
Approved after reviewing 06.10.2025.  
Accepted for publication 20.10.2025.



## Современные подходы к топологической оптимизации несущих конструкций монолитных железобетонных зданий и сооружений

И.Д. Бурбанов<sup>1✉</sup>, Т.Л. Дмитриева<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

**Аннотация.** Топологическая оптимизация представляет собой математический инструмент проектирования, который позволяет автоматизировать поиск оптимального распределения материала в заданной области с учетом его свойств, приложенных нагрузок, пограничных условий и ограничений по прочности и жесткости с целью достижения максимальной эффективности работы конструкции. Применение топологической оптимизации к проектированию монолитных железобетонных конструкций представляет собой важное направление развития строительной науки и инженерной практики. Целью статьи является систематизация и анализ основных современных подходов, методов и алгоритмов топологической оптимизации, применяемых при проектировании монолитных железобетонных конструкций зданий и сооружений. В ходе работы проведен анализ научной литературы, включающей статьи и технические отчеты, который показал, что применение топологической оптимизации к проектированию монолитных железобетонных конструкций позволяет достичь снижения материалоемкости до 16–30 % при обеспечении всех требуемых критериев прочности и надежности конструкций. Таким образом, данный подход является мощным инструментом, позволяющим снизить расход материала при сохранении несущей способности конструкций. Перспективными направлениями является интеграция исследований с технологиями искусственного интеллекта. Статья может быть полезна для проектировщиков, научных работников и аспирантов, исследования которых связаны с вопросами оптимизации.

**Ключевые слова:** топологическая оптимизация, железобетонные конструкции, искусственный интеллект, машинное обучение, экономия материала, проектирование зданий

**Для цитирования:** Бурбанов И.Д., Дмитриева Т.Л. Современные подходы к топологической оптимизации несущих конструкций монолитных железобетонных зданий и сооружений // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 4. С. 666–674. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-4-666-674>. EDN: ODUQZP.

### Original article

## Modern approaches to topological optimization of load-bearing structures of monolithic reinforced concrete buildings and structures

Ilya D. Burbanov<sup>1✉</sup>, Tatyana L. Dmitrieva<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

**Abstract.** Topological optimization is a mathematical design tool that allows you to automate the search for the optimal distribution of a material in a given area, taking into account its properties, applied loads, boundary conditions, and limitations on strength and rigidity in order to maximize the efficiency of the structure. The application of topological optimization to the design of monolithic reinforced concrete structures is an important direction in the development of construction science and engineering practice. The purpose of the article is to systematize and analyze the main modern approaches, methods and algorithms of topological optimization used in the design of monolithic reinforced concrete structures of buildings and structures. In the course of the work, an analysis of scientific literature, including articles and technical reports, was carried out, which showed that the application of topological optimization to the design of monolithic reinforced concrete structures makes it possible to achieve a reduction in material consumption of up to 16–30 % while ensuring all the required criteria for strength and reliability of structures. Thus, this approach is a powerful tool to reduce material consumption while maintaining the load-

© Бурбанов И.Д., Дмитриева Т.Л., 2025

bearing capacity of structures. Promising areas are the integration of research with artificial intelligence technologies. The article may be useful for designers, researchers, and graduate students whose research is related to optimization issues.

**Keywords:** topological optimization, reinforced concrete structures, artificial intelligence, machine learning, saving of material, structural design

**For citation:** Burbanov I.D., Dmitrieva T.L. Modern approaches to topological optimization of load-bearing structures of monolithic reinforced concrete buildings and structures. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2025;15(4):666-674. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-4-666-674>. EDN: ODUQZP.

## ВВЕДЕНИЕ

Инженерное проектирование всегда стремилось к созданию конструкций с оптимальными параметрами. Первоначально топологическая оптимизация (ТО) получила признание в аэрокосмической области, но с развитием вычислительных средств и аддитивных технологий ее начали внедрять в другие отрасли, включая машиностроение и строительство. Железобетон, будучи одним из основных строительных материалов на сегодняшний день, обладает специфическими особенностями, требующими специального подхода к оптимизации конструкций, выполненных из него. Данная обзорная статья посвящена комплексному рассмотрению методов топологической оптимизации применительно к монолитным железобетонным конструкциям зданий и сооружений. Актуальность темы обусловлена необходимостью снижения материалоемкости строительных конструкций при обеспечении их надежности, что требует развития новых методов проектирования.

## МЕТОДЫ

В ходе работы был проведен анализ научной литературы. Поиск релевантной мировой литературы осуществлялся путем составления списка терминов по предметной области, который сопоставлялся с наиболее часто употребляемыми ключевыми словами в реферативных базах научного цитирования.

В результате поиск проводился по этим базовым ключевым словам. В результате было отобрано 26 релевантных источников литературы.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Историческое развитие топологической оптимизации как научной дисциплины началось в 90-х годах прошлого века с работы ученых Бендсе и Кикучи, которые предложили использование метода гомогенизации для определения оптимального распределения материала в расчетной области [1].

В последующие два десятилетия научные исследования в области топологической оптимизации сосредотачивались главным образом

на совершенствовании математических методов и численных алгоритмов. Была разработана целая серия методов, включая метод штрафа для твердого изотропного тела (Solid Isotropic Material with Penalization – SIMP) [2], методы эволюционной оптимизации конструкций (ESO и BESO) [3, 4], метод множества уровней (Level-set) [5], метод рациональной аппроксимации свойств материала (Rational Approximation of Material Properties) [6] и др.

*Методы топологической оптимизации конструкций*

Метод SIMP является одним из наиболее распространенных. Здесь расчетная область разбивается на конечные элементы, каждому из которых присваивается переменная плотности материала. Элементам с плотностью, близкой к нулю, соответствует отсутствие материала, а элементам с плотностью 1 – наличие материала.

Данный метод позволяет получить дискретные распределения материала при использовании адекватных фильтров чувствительности. Он может привести к появлению эффекта «шахматной доски» в результатах, что требует применения специальных техник регуляризации [7].

Метод BESO является дискретным методом топологической оптимизации, основанным на последовательном удалении и добавлении конечных элементов [4].

На каждой итерации алгоритма элементы с наименьшим показателем эффективности удаляются из конструкции (фаза удаления), а элементы на границе между материалом и пустотой добавляются (фаза добавления).

К преимуществам данного метода относят простоту реализации, минимальные требования к вычислительным ресурсам и способность генерировать физически реалистичные и практически приемлемые топологии.

Недостатками являются зависимость результатов от начального распределения материала и необходимость тщательной калибровки параметров алгоритма до достижения сходимости. Метод ESO, предшествовавший

методу BESO, базируется на последовательном удалении малоэффективных элементов и был одним из первых дискретных методов топологической оптимизации. Хотя позже он был вытеснен методом BESO, обладающим лучшей способностью управления результатом оптимизации благодаря фазе добавления, метод ESO остается полезным для предварительной концептуальной оптимизации [3].

Метод множества уровней (Level-set) использует неявное описание границы между материалом и пустотой через функцию расстояния. Граница описывается как нулевой уровень скалярной функции, определенной на всей расчетной области.

Основное преимущество метода заключаются в том, что он автоматически обеспечивает четкое разделение между материалом и пустотой без необходимости использования штрафных функций. Это помогает избегать появления промежуточных значений плотности и позволяет получить топологии с четкими границами материала. Метод множества уровней может быть объединен с анализом топологической чувствительности, что позволяет систематически обновлять границу конструкции на основе изменений глобальных показателей производительности при локальных топологических возмущениях [5].

Метод рациональной аппроксимации свойств материала (RAMP), как альтернатива методу SIMP, использует улучшенную функцию интерполяции свойств материала [6, 8], обладает лучшей физической обоснованностью и часто требует меньшего числа итераций для сходимости, чем метод SIMP. Он может быть менее критичен в удалении промежуточных плотностей.

*Основные принципы анализа чувствительности в топологической оптимизации*

Анализ чувствительности является критически важным компонентом любого алгоритма топологической оптимизации, поскольку он определяет производные целевой функции и функций ограничений по переменным проектирования (плотностям элементов или параметрам множества уровней).

Эти производные определяют направление и скорость изменения оптимизируемых функций, что позволяет алгоритму оптимизации выбирать направление наиболее быстрого улучшения [9].

Для задач с большим числом ограничений или ограничений, зависящих от напряжений, используются сопряженные методы расчета чувствительности.

Эти методы позволяют вычислить производные по всем переменным проектирования

за счет решения дополнительной системы уравнений, число которых не зависит от числа переменных проектирования. Сопряженный метод основан на принципе виртуальной работы и теории двойственности в оптимизации. Он позволяет эффективно вычислять градиенты даже для больших систем уравнений и является стандартным инструментом в современных коммерческих программных пакетах оптимизации [10].

Прямое использование значений чувствительности часто приводит к нежелательным эффектам, таким как эффект «шахматной доски» (чередование элементов с материалом и без материала в соседних позициях) [7] и зависимости результата от размера конечно-элементной сетки. Для устранения этих эффектов используются фильтры чувствительности, которые усредняют значения чувствительности соседних элементов в пределах определенного радиуса фильтрации. Это эквивалентно применению фильтра низких частот к полю чувствительности, что удаляет высокочастотные компоненты (соответствующие эффекту «шахматной доски») [11].

*Особенности оптимизации железобетонных конструкций*

Применение методов топологической оптимизации к железобетонным конструкциям сопряжено с рядом специфических вызовов, отличающих эту задачу от оптимизации однородных материалов:

- композитная природа материала – железобетон состоит из двух материалов с существенно различными свойствами: бетона и арматурной стали. Это требует использования специальных моделей взаимодействия между компонентами при решении задач оптимизации;

- физическая нелинейность – моделирование работы железобетона требует учета нелинейной связи между напряжениями и деформациями – нелинейность требует применения итерационных методов расчета и усложняет процедуру поиска оптимального решения;

- различное поведение при растяжении и сжатии – прочность бетона при сжатии значительно превышает его прочность при растяжении (в 10–15 раз). Это требует введения асимметричных ограничений в задачу оптимизации;

- ограничения по технологии изготовления – в отличие от аэрокосмических конструкций, где возможны сложные геометрические формы, железобетонные конструкции, изготавливаемые с помощью традиционной щитовой опалубки, имеют ограничения по форме и ориентации конструктивных элементов. Необходимо обеспечить возможность размещения

опалубки и ее снятия, а также возможность виброуплотнения бетона.

#### *Практическое применение топологической оптимизации в проектировании железобетонных конструкций*

Одной из классических прикладных задач ТО в строительстве является задача оптимизации балок [12]. Использование методов SIMP и BESO позволяет определить оптимальное распределение бетона и арматуры для балок различной конфигурации нагружения. Практические примеры показывают возможность снижения материалоемкости балок на 30 % при неизменном обеспечении их несущей способности. Результаты оптимизации служат основой для разработки новых конструктивных схем, которые могут быть практически реализованы [13]. Аналогичная задача топологической оптимизации балки также была решена методом, основанным на методе SIMP [14].

В статье [15] предлагается новый подход к топологической оптимизации ребристых плит и оболочек с использованием объемных конечных элементов и ограничений соответствия (mapping constraint), который позволяет избежать появления изолированных ребер и повысить эффективность конструкций. Подход реализован в трех методах ТО – SIMP, Robust SIMP и BESO. Численные эксперименты показали, что подход с BESO демонстрирует наилучшие результаты. Использование объемных конечных элементов (КЭ) увеличивает вычислительные затраты на 36 % по сравнению с оболочечными моделями. Подход также был успешно применен к криволинейным оболочкам, что открывает возможности для создания эффективных конструкций.

В статье [16] продемонстрирован генетический алгоритм оптимизации расположения арматуры в плите перекрытия, который позволяет на выходе получать несколько схем армирования, а также общий расход и количество типов используемых арматурных стержней. Так как железобетон является биматериалом, данную задачу можно отнести к одной из задач топологической оптимизации железобетонных конструкций.

Одним из подходов к топологической оптимизации является использование модели распорок и тяжей (Strut-and-Tie model), которая приводит железобетонную конструкцию к ферменной аналогии [17].

Такой подход применительно к топологической оптимизации железобетонных балок-стенок (с отверстиями и без), промежуточных опор мостов, а также к стеновым диафрагмам был описан в статьях [18–21].

В работе [22] представлен метод топологической оптимизации плоских железобетонных рам. В изначальной расчетной схеме колонны имеют минимальный шаг и максимально близко расположены друг к другу. Суть метода заключается в итеративном удалении мало нагруженных колонн с перерасчетом на каждом шаге. Было отмечено, что вариант топологии схемы, получившийся на выходе, соответствует конфигурации с минимальной стоимостью.

В статье [23] продемонстрирован аналогичный, но более комплексный подход к топологической оптимизации железобетонных многоэтажных плоских рам на основе модифицированного генетического алгоритма. При использовании данного метода на первом этапе случайно исключаются группы конструктивных элементов, после чего происходит изменение расположения оставшихся конструкций в проектном пространстве, а также их параметрическая оптимизация.

В работе [24] описан подход к топологической оптимизации каркаса железобетонных многоэтажных зданий, основанный на методе ESO.

Суть данного подхода заключается в итерационном удалении определенного процента колонн из исходной компоновки вертикальных конструкций каркаса в плане. Данный метод позволяет достичь снижения материалоемкости конструкций на 16–18 % при сохранении всех их прочностных свойств.

В техническом отчете [25] описан подход к топологической оптимизации железобетонной стены. Также был представлен сравнительный анализ результатов испытаний исходной конструкции и топологически-оптимизированной конструкции, которую удалось выполнить с помощью опалубки, напечатанной на 3D-принтере.

#### *Проблемы в задачах топологической оптимизации железобетонных конструкций*

1. Вычислительные трудности. Решение задач топологической оптимизации с использованием нелинейных моделей материала требует проведения нелинейного анализа конструкции на каждой итерации оптимизации, что приводит к колоссальным вычислительным затратам. Даже при использовании современных вычислительных мощностей оптимизация трехмерной конструкции может потребовать несколько часов или даже суток вычислений.

2. Зависимость от сетки конечных элементов. Благодаря фильтрам чувствительности удается существенно снизить зависимость результатов оптимизации от размера конечных

элементов, но полностью избежать этой зависимости не удается. При изменении сетки КЭ результаты оптимизации могут существенно отличаться.

3. Эффект «шахматной доски». Несмотря на применение фильтров, в некоторых случаях результаты оптимизации содержат нежелательные артефакты, такие как эффект «шахматной доски», разреженные соединения элементов и др., которые могут быть невозможными с точки зрения практического производства.

4. Интерпретация результатов оптимизации. Результаты топологической оптимизации часто представляют собой сложные трехмерные конструкции с криволинейными границами, которые трудно интерпретировать и преобразовывать в практические конструктивные схемы, пригодные для изготовления и монтажа.

5. Ограничения, связанные с методологией проектирования. Разработка оптимальной конструкции требует предварительного определения расчетных схем, нагрузок, граничных условий и системы ограничений. Любые неточности в этих исходных данных приводят к нежелательным результатам оптимизации. Это требует глубокого понимания инженером принципов работы конструкций.

*Искусственный интеллект (ИИ) и машинное обучение в топологической оптимизации*

Одно из основных направлений использования нейронных сетей в ТО – замещение традиционного метода конечных элементов. Сети обучаются прогнозировать распределение напряжений и деформаций в конструкциях на основе их геометрии, нагрузок и граничных условий. Это позволяет на несколько порядков ускорить процесс оптимизации [26].

Интересным представляется использование алгоритмов, основанных на применении нейронных сетей, что позволяет реализовывать поиск оптимума с самообучением [27]. При использовании нейронных сетей можно выполнять имитационное моделирование, в ходе которого будет с той или иной степенью точности определяться значение функции цели. После этого можно реализовывать различные методы оптимизации, в том числе генетические алгоритмы, методы роя и другие. В статье [28] была продемонстрирована практическая польза нейросетевых моделей в постобработке результатов топологической оптимизации конструкции детали летального аппарата. Несмотря на многообещающие результаты, применение методов ИИ к топологической оптимизации имеет ограничения. Сети должны быть обучены на достаточно большом

наборе репрезентативных данных, что требует значительных вычислительных затрат на этапе подготовки. Кроме того, аппроксимация результатов работы нейронных сетей на новые типы задач, существенно отличающихся от обучающих данных, может быть затруднена.

Вопросы физической обоснованности прогнозов нейросетей и их соответствие результатов принципам механики остаются мало исследованными и требуют дополнительного развития.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В ходе проведенного обзора были сделаны следующие выводы:

1. Топологическая оптимизация представляет собой мощный и перспективный метод для оптимизации монолитных железобетонных конструкций зданий и сооружений. За четыре десятилетия развития этот метод прошел путь от теоретического любопытства до практического инструмента, используемого в различных отраслях инженерии.

2. Применение методов топологической оптимизации к железобетонным конструкциям позволяет существенно снизить расход материалов (на 16–30 % и более в зависимости от типа конструкции), оптимизировать распределение напряжений и размещение арматуры, получить новые конструктивные решения, которые было бы невозможно разработать на основе эмпирических методов и интуиции инженера.

Внедрение этих методов в практику строительного проектирования требует решения ряда вызовов и ограничений, таких как вычислительная сложность, необходимость учета специфических свойств железобетона, ограничения, связанные с технологией изготовления, и необходимость адекватной интерпретации результатов оптимизации для их применения в строительной практике.

3. Перспективными направлениями развития являются:

– развитие методов оптимизации, учитывающих нелинейное поведение материала и сложные механизмы отказа железобетонных конструкций;

– интеграция искусственного интеллекта и машинного обучения для ускорения процессов оптимизации;

– развитие методологии проектирования, которая бы органично интегрировала результаты топологической оптимизации в практический процесс разработки конструкций;

– учет в оптимизационных схемах этапности возведения сооружения в части рассмотрения вариантов расчетных схем, связанных с его монтажом.

4. Успешное применение топологической оптимизации в практике строительства требует тесного сотрудничества исследователей, инженеров-расчетчиков, конструкторов и строителей.

Только при таком комплексном подходе можно реализовать потенциал этого мощного метода для создания более эффективных, надежных и экономичных строительных конструкций.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Bendsøe M.P., Kikuchi N. Generating Optimal Topologies in Structural Design Using a Homogenization Method // *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 1988. Vol. 71. Iss. 2. P. 197–224. [https://doi.org/10.1016/0045-7825\(88\)90086-2](https://doi.org/10.1016/0045-7825(88)90086-2).
2. Bendsøe M.P., Sigmund O. *Topology Optimization. Theory, Methods, and Applications*. Berlin: Springer, 2004. 370 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-05086-6>.
3. Xie Y.M., Steven G.P. A Simple Evolutionary Procedure for Structural Optimization // *Computers & Structures*. 1993. Vol. 49. Iss. 5. P. 885–896. [https://doi.org/10.1016/0045-7949\(93\)90035-C](https://doi.org/10.1016/0045-7949(93)90035-C).
4. Liang Xia, Qi Xia, Xiaodong Huang, Yi Min Xie Bi-directional Evolutionary Structural Optimization on Advanced Structures and Materials: A Comprehensive Review // *Archives of Computational Methods in Engineering*. 2018. Vol. 25. P. 437–478. <https://doi.org/10.1007/s11831-016-9203-2>.
5. Andreasen C.S., Elingaard M.O., Aage N. Level Set Topology and Shape Optimization by Density Methods Using Cut Elements with Length Scale Control // *Structural and Multidisciplinary Optimization*. 2020. Vol. 62. P. 685–707. <https://doi.org/10.1007/s00158-020-02527-1>.
6. Hvejsel C.F., Lund E. Material Interpolation Schemes for Unified Topology and Multi-Material Optimization // *Structural and Multidisciplinary Optimization*. 2011. Vol. 43. P. 811–825. <https://doi.org/10.1007/s00158-011-0625-z>.
7. Stolpe M., Svanberg K. An Alternative Interpolation Scheme for Minimum Compliance Topology Optimization // *Structural and Multidisciplinary Optimization*. 2001. Vol. 22. P. 116–124. <https://doi.org/10.1007/s001580100129>.
8. Jun-ichi Koga, Jiro Koga, Shunji Homma Checkerboard Problem to Topology Optimization of Continuum Structures // *arXiv*. 2013. P. 1–10. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1309.5677>.
9. Крыжевич Г.Б., Филатов А.Р. Комплексный подход к топологической и параметрической оптимизации судовых конструкций // *Труды Крыловского государственного научного центра*. 2020. № 1. С. 95–108. <https://doi.org/10.24937/2542-2324-2020-1-391-95-108>. EDN: CTELQW.
10. Kai Sun, Yuan Liang, Gengdong Cheng Sensitivity Analysis of Discrete Variable Topology Optimization // *Structural and Multidisciplinary Optimization*. 2022. Vol. 65. P. 1–18. <https://doi.org/10.1007/s00158-022-03321-x>.
11. Nejat A.A., Held A., Seifried R. An Efficient Adjoint Sensitivity Analysis of Flexible Multibody Systems for a Level-set-based Topology Optimization // *Special Issue: 91st Annual Meeting of the International Association of Applied Mathematics and Mechanics (GAMM)*. 2021. Vol. 20. Iss. 1. P. 1–3. <https://doi.org/10.1002/pamm.202000066>.
12. Ferro R.M., Pavanello R. A Simple and Efficient Structural Topology Optimization Implementation Using Open-Source Software for All Steps of the Algorithm: Modeling, Sensitivity Analysis and Optimization // *Computer Modeling in Engineering & Sciences*. 2023. Vol. 136. Iss. 2. P. 1371–1397. <https://doi.org/10.32604/cmescs.2023.026043>.
13. Surit S., Wethyavivorn B. Topology Optimization of Reinforced Concrete Beams by a Spread-Over Reinforcement Model with Fixed Grid Mesh // *Songklanakarin Journal of Science and Technology*. 2011. Vol. 33. Iss. 1. P. 95–100.
14. Sreevidya V., Nidhi M. Critical Reviews on Topology Optimisation of Reinforced Concrete // *Trends in Civil Engineering and its Architecture*. 2018. Vol. 1. Iss. 5. P. 1–4. <http://doi.org/10.32474/TCEIA.2018.01.000124>.
15. Dongkyu Lee, Sungsoo Park, Soomi Shin SIMP-Based Dynamic Topological Optimum depending on Maximum Eigenfrequency for Reinforcement of Concrete Beams // *Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering*. 2008. Vol. 2. Iss. 8. P. 1070–1079. <https://doi.org/10.1299/jmmp.2.1070>.
16. Jiaming Ma, Yunzhen He, Zi-Long Zhao, Yi Min Xie Topology Optimization of Ribbed Slabs and Shells // *Engineering Structures*. 2023. Vol. 277. P. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.115454>.
17. Квасников А.А., Сумароков Е.В. Оптимизация армирования железобетонных конструкций зданий и сооружений при автоматизации процессов проектирования // *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2023. № 2. С. 136–150. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-2\(37\)-136-150](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-2(37)-136-150). EDN: YDILFM.
18. Санникова О.Г., Тур В.В. Основные положения модели «распорки и тяжи» для определения сопротивления срезу железобетонных элементов // *Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки*. 2018. № 16. С. 19–29. EDN: ZKCQRY.

19. Guest J.K., Moen C.D. Reinforced Concrete Design with Topology Optimization // 19th Analysis & Computation Specialty Conference. 2010. P. 445–454. [https://doi.org/10.1061/41131\(370\)39](https://doi.org/10.1061/41131(370)39).
20. Haitao Chen, Yanze Sun, Meixu Deng Research on the Reinforcement Design of Concrete Deep Beams with Openings Based on the Strut-and-Tie Model // Buildings. 2025. Vol. 15. Iss. 8. P. 1–15. <https://doi.org/10.3390/buildings15081382>.
21. Jewett J., Carstensen J.V. Comparing Design Outcomes of Reinforced Concrete Elements Designed Using Topology Optimization // Proceedings of the IASS 2024 Symposium. 2024. P. 1–9.
22. Yi Xia, Langelaar M., Hendriks M.A.N. A Critical Evaluation of Topology Optimization Results for Strut-And-Tie Modeling Of Reinforced Concrete // Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering. 2020. Vol. 35. Iss. 8. P. 850–869. <https://doi.org/10.1111/mice.12537>.
23. Kripka M., Boscardin J.T., Casteli S.D. Topology Optimization of Reinforced Concrete Plane Frames // Revista Sul-americana de Engenharia Estrutural. 2016. Vol. 13. Iss. 2. P. 45–53. <https://doi.org/10.5335/rsaee.v13i2.6343>.
24. Tamrazyan A., Alekseytsev A. Strategy for the Evolutionary Optimization of Reinforced Concrete Frames Based on Parallel Populations Evolving // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 869. P. 1–9. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/869/5/052019>.
25. Xin-Cai Xiong, Hu-Zhi Zhang, Gang Peng, Fei-Fan Feng Column Layout Design for Concrete Frame Structures Utilizing the Strain Energy-Based Topology Optimization Method // Journal of Asian Architecture and Building Engineering. 2025. P. 1–17. <https://doi.org/10.1080/13467581.2025.2457380>.
26. Mudaliar T., Lequesne R.D., Fadden M. Topology Optimized Reinforced Concrete Walls Constructed with 3D Printed Formwork. Lawrence: The University of Kansas Center for Research. 2020. 152 p.
27. Chandrasekhar A., Suresh K. TOuNN: Topology Optimization using Neural Networks // Structural and Multidisciplinary Optimization. 2021. Vol. 63. P. 1135–1149. <https://doi.org/10.1007/s00158-020-02748-4>.
28. Тамразян А.Г., Алексейцев А.В. Современные методы оптимизации конструктивных решений для несущих систем зданий и сооружений // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. № 1. С. 12–30. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2020.1.12-30>. EDN: WVLC DG.
29. Persia J.T., Myung Kyun Sung, Soobum Lee, Burns D.E. Neural Network-Based Surrogate Model in Post-processing of Topology Optimized Structures // Neural Computing and Applications. 2025. Vol. 37. P. 8845–8867. <https://doi.org/10.1007/s00521-025-11039-2>.

#### REFERENCES

1. Bendsøe M.P., Kikuchi N. Generating Optimal Topologies in Structural Design Using a Homogenization Method. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 1988;71(2):197-224. [https://doi.org/10.1016/0045-7825\(88\)90086-2](https://doi.org/10.1016/0045-7825(88)90086-2).
2. Bendsøe M.P., Sigmund O. *Topology Optimization. Theory, Methods, and Applications*. Berlin: Springer, 2004. 370 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-05086-6>.
3. Xie Y.M., Steven G.P. A Simple Evolutionary Procedure for Structural Optimization. *Computers & Structures*. 1993;49(5):885-896. [https://doi.org/10.1016/0045-7949\(93\)90035-C](https://doi.org/10.1016/0045-7949(93)90035-C).
4. Liang Xia, Qi Xia, Xiaodong Huang, Yi Min Xie Bi-directional Evolutionary Structural Optimization on Advanced Structures and Materials: A Comprehensive Review. *Archives of Computational Methods in Engineering*. 2018;25:437-478. <https://doi.org/10.1007/s11831-016-9203-2>.
5. Andreasen C.S., Elingaard M.O., Aage N. Level Set Topology and Shape Optimization by Density Methods Using Cut Elements with Length Scale Control. *Structural and Multidisciplinary Optimization*. 2020;62:685-707. <https://doi.org/10.1007/s00158-020-02527-1>.
6. Hvejsel C.F., Lund E. Material Interpolation Schemes for Unified Topology and Multi-Material Optimization. *Structural and Multidisciplinary Optimization*. 2011;43:811-825. <https://doi.org/10.1007/s00158-011-0625-z>.
7. Stolpe M., Svanberg K. An Alternative Interpolation Scheme for Minimum Compliance Topology Optimization. *Structural and Multidisciplinary Optimization*. 2001;22:116-124. <https://doi.org/10.1007/s001580100129>.
8. Jun-ichi Koga, Jiro Koga, Shunji Homma Checkerboard Problem to Topology Optimization of Continuum Structures. *arXiv*. 2013:1-10. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1309.5677>.
9. Kryzhevich G.B., Filatov A.R. Comprehensive Approach to Topological and Parametric Optimization of Ship Structures. *Transactions of the Krylov State Research Centre*. 2020;1:95-108. (In Russ.). <https://doi.org/10.24937/2542-2324-2020-1-391-95-108>. EDN: CTELQW.
10. Kai Sun, Yuan Liang, Gengdong Cheng Sensitivity Analysis of Discrete Variable Topology Optimization. *Structural and Multidisciplinary Optimization*. 2022;65:1-18. <https://doi.org/10.1007/s00158-022-03321-x>.
11. Nejat A.A., Held A., Seifried R. An Efficient Adjoint Sensitivity Analysis of Flexible Multibody Systems for a Level-set-based Topology Optimization. *Special Issue: 91st Annual Meeting of the International Association of Applied Mathematics and Mechanics (GAMM)*. 2021;20(1):1-3. <https://doi.org/10.1002/pamm.202000066>.

12. Ferro R.M., Pavanello R. A Simple and Efficient Structural Topology Optimization Implementation Using Open-Source Software for All Steps of the Algorithm: Modeling, Sensitivity Analysis and Optimization. *Computer Modeling in Engineering & Sciences*. 2023;136(2):1371-1397. <https://doi.org/10.32604/cmes.2023.026043>.
13. Surit S., Wethyavivorn B. Topology Optimization of Reinforced Concrete Beams by a Spread-Over Reinforcement Model with Fixed Grid Mesh. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*. 2011;33(1):95-100.
14. Sreevidya V., Nidhi M. Critical Reviews on Topology Optimisation of Reinforced Concrete. *Trends in Civil Engineering and its Architecture*. 2018;1(5):1-4. <http://doi.org/10.32474/TCEIA.2018.01.000124>.
15. Dongkyu Lee, Sungsoo Park, Soomi Shin SIMP-Based Dynamic Topological Optimum depending on Maximum Eigenfrequency for Reinforcement of Concrete Beams. *Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering*. 2008;2(8):1070-1079. <https://doi.org/10.1299/jmmp.2.1070>.
16. Jiaming Ma, Yunzhen He, Zi-Long Zhao, Yi Min Xie Topology Optimization of Ribbed Slabs and Shells. *Engineering Structures*. 2023;277:1-8. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.115454>.
17. Kvasnikov A.A., Sumarokov E.V. Optimizing the Reinforcement of Buildings and Structures in Automatic Design Processes. *Bulletin of the Scientific Research Center of Construction*. 2023;2:136-150. (In Russ.). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-2\(37\)-136-150](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-2(37)-136-150). EDN: YDILFM.
18. Sannikava O.G., Tur V.V. The Main Provisions of Strut-And-Ties Model for the Calculation of Shear Resistance of Reinforced Concrete Elements. *Vestnik of Polotsk State University. Part F. Constructions. Applied Sciences*. 2018;16:19-29. (In Russ.). EDN: ZKCQRY.
19. Guest J.K., Moen C.D. Reinforced Concrete Design with Topology Optimization. *19th Analysis & Computation Specialty Conference*. 2010:445-454. [https://doi.org/10.1061/41131\(370\)39](https://doi.org/10.1061/41131(370)39).
20. Haitao Chen, Yanze Sun, Meixu Deng Research on the Reinforcement Design of Concrete Deep Beams with Openings Based on the Strut-and-Tie Model. *Buildings*. 2025;15(8):1-15. <https://doi.org/10.3390/buildings15081382>.
21. Jewett J., Carstensen J.V. Comparing Design Outcomes of Reinforced Concrete Elements Designed Using Topology Optimization. *Proceedings of the IASS 2024 Symposium*. 2024:1-9.
22. Yi Xia, Langelaar M., Hendriks M.A.N. A Critical Evaluation of Topology Optimization Results for Strut-And-Tie Modeling Of Reinforced Concrete. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*. 2020;35(8):850-869. <https://doi.org/10.1111/mice.12537>.
23. Kripka M., Boscardin J.T., Casteli S.D. Topology Optimization of Reinforced Concrete Plane Frames. *Revista Sul-americana de Engenharia Estrutural*. 2016;13(2):45-53. <https://doi.org/10.5335/rsae.v13i2.6343>.
24. Tamrazyan A., Alekseytsev A. Strategy for the Evolutionary Optimization of Reinforced Concrete Frames Based on Parallel Populations Evolving. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020;869:1-9. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/869/5/052019>.
25. Xin-Cai Xiong, Hu-Zhi Zhang, Gang Peng, Fei-Fan Feng Column Layout Design for Concrete Frame Structures Utilizing the Strain Energy-Based Topology Optimization Method. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*. 2025:1-17. <https://doi.org/10.1080/13467581.2025.2457380>.
26. Mudaliar T., Lequesne R.D., Fadden M. *Topology Optimized Reinforced Concrete Walls Constructed with 3D Printed Formwork*. Lawrence: The University of Kansas Center for Research. 2020. 152 p.
27. Chandrasekhar A., Suresh K. TOuNN: Topology Optimization using Neural Networks. *Structural and Multidisciplinary Optimization*. 2021;63:1135-1149. <https://doi.org/10.1007/s00158-020-02748-4>.
28. Tamrazyan A.G., Alekseytsev A.V. Review of Modern Optimization Methods for Bearing Systems of Buildings and Structures. *Monthly Journal on Construction and Architecture*. 2020;15(1):12-30. (In Russ.). <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2020.1.12-30>. EDN: WVLC DG.
29. Persia J.T., Myung Kyun Sung, Soobum Lee, Burns D.E. Neural Network-Based Surrogate Model in Post-processing of Topology Optimized Structures. *Neural Computing and Applications*. 2025;37:8845-8867. <https://doi.org/10.1007/s00521-025-11039-2>.

#### Информация об авторах

**Бурбанов Илья Дмитриевич**,  
аспирант,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова 83, Россия,  
✉e-mail: ilyadb@yandex.ru  
<https://orcid.org/0009-0003-6180-1100>  
Author ID: 1319680

#### Information about the authors

**Ilya D. Burbanov**,  
Postgraduate Student,  
Irkutsk National Research Technical University,  
664074, Irkutsk, Lermontov St. 83,  
Russia,  
✉e-mail: ilyadb@yandex.ru  
<https://orcid.org/0009-0003-6180-1100>  
Author ID: 1319680

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

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

**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 ap-proved  
by all the co-authors.

**Информация о статье**

Статья поступила в редакцию 08.07.2025.  
Одобрена после рецензирования 11.08.2025.  
Принята к публикации 26.08.2025.

**Information about the article**

The article was submitted 08.07.2025.  
Approved after reviewing 11.08.2025.  
Accepted for publication 26.08.2025.



## Коллизии в цифровой информационной модели строительного объекта на этапах проектирования и строительства и методика их выявления

А.К. Геворкян<sup>1</sup>, С.А. Сербин<sup>2</sup>, Н.И. Фомин<sup>3</sup>✉

<sup>1,2,3</sup>Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

**Аннотация.** В статье представлены результаты анализа термина «коллизия» в различных нормативных документах. Установлено отсутствие однозначного определения тех коллизий в цифровых информационных моделях объектов капитального строительства, которые оказывают негативное влияние на этап строительства при использовании таких моделей в качестве рабочей документации. Предложено определение коллизии в цифровой информационной модели – проектно-строительное пространственное пересечение элементов, негативно проявляющее себя на этапе строительства. В результате экспертного исследования определены критерии применимости цифровых информационных моделей объектов капитального строительства в качестве рабочей документации на этапе строительства, связанные с коллизиями – проектно-строительными пересечениями. Предложена авторская модель анализа дефектов, возникающих на этапах проектирования и строительства, в виде диаграммы Эйлера-Венна. Определено, что результативным инструментом для идентификации проектно-строительных пространственных пересечений элементов цифровой информационной модели объекта капитального строительства является матрица пересечений. Предложен алгоритм формирования матрицы пересечений для выявления коллизий в виде проектно-строительных пересечений элементов цифровой информационной модели объекта капитального строительства.

**Ключевые слова:** коллизия, цифровая информационная модель объекта капитального строительства, проектно-строительное пространственное пересечение элементов ЦИМ ОКС, дефект проектирования, дефект на этапе строительства, алгоритм формирования матрицы пересечений

**Для цитирования:** Геворкян А.К., Сербин С.А., Фомин Н.И. Коллизии в цифровой информационной модели строительного объекта на этапах проектирования и строительства и методика их выявления // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 4. С. 675–687. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-4-675-687>. EDN: NYFJWU.

### Original article

## Collisions in the digital information model of a construction object at the stages of design and construction and the methodology for their identification

Armen K. Gevorkyan<sup>1</sup>, Sergey A. Serbin<sup>2</sup>, Nikita I. Fomin<sup>3</sup>✉

<sup>1,2,3</sup>Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

**Abstract.** The article presents the results of the analysis of the term "conflict" in various regulatory documents. It has been established that there is no unambiguous definition of those collisions in digital information models of capital construction facilities that have a negative impact on the construction stage when using such models as working documentation. The definition of a collision in a digital information model is proposed – a design and construction spatial intersection of elements that negatively manifests itself at the construction stage. As a result of the expert study, the criteria for the applicability of digital information models of capital construction facilities as working documentation at the construction stage related to design and construction collisions were determined. The author's model for analyzing defects

that occur at the design and construction stages is proposed in the form of an Euler-Venn diagram. It is determined that the intersection matrix is an effective tool for identifying design and construction spatial intersections of elements of the digital information model of a capital construction facility. An algorithm for forming an intersection matrix is proposed to identify collisions in the form of design and construction intersections of elements of a digital information model of a capital construction facility.

**Keywords:** collision, building information model of a construction project, design and construction spatial intersection of building information model elements, design defect, construction defect, intersection matrix formation algorithm

**For citation:** Gevorkyan A.K., Serbin S.A., Fomin N.I. Collisions in the digital information model of a construction object at the stages of design and construction and the methodology for their identification. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2025;15(4):675-687. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-4-675-687>. EDN: NYFJWU.

## ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день достаточное большое количество исследований посвящено проблеме анализа коллизий в строительстве [1, 2]. Многие авторы указывают на то, что своевременное устранение коллизий на этапе проектирования позволяет уменьшить сроки и стоимость строительства [3–5]. На рынке представлен ряд программных комплексов, таких как Tangl Control, Autodesk Navisworks, Pilot-BIM, Rubius, Larix, BIMIT [6,7], которые позволяют не только обнаруживать коллизии, но также обеспечить автоматический контроль их исправления при использовании технологий информационного моделирования.

Вместе с этим, отдельные авторы в своих исследованиях задаются вопросом: все ли коллизии необходимо устранять? Так, например, в [8] освещается вопрос: насколько строгой должна быть ошибка, чтобы считать ее коллизией.

В [9] автор выявляет проблему существования лишних, то есть незначительных и отвлекающих внимание специалиста, выполняющего контроль качества цифровой информационной модели объекта капитального строительства (ЦИМ ОКС), коллизий.

Таким образом, существует объективная проблема идентификации наиболее значимых коллизий для их первоочередного устранения перед реализацией следующих этапов жизненного цикла строительного объекта.

Рассмотрим термин «коллизия», сложившийся в строительной практике. В действующем законодательстве представлено два определения:

– согласно п. 3.4 СП 301.1325800.2017 Информационное моделирование в строительстве. Правила организации работ производственно-техническими отделами: «Коллизия – это противоречие между двумя и более элементами цифровой информационной модели».

В примечании указано, что «...коллизии возникают в результате геометрических пересечений, нарушений допустимых расстояний между элементами, логических связей между элементами, нормируемых параметров и др.»;

– согласно п. 3.1.8 СП 333.1325800.2020 Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла «Коллизия – дефект, содержащийся в цифровой информационной модели и заключающийся в пространственном или ином пересечении двух или более элементов цифровой информационной модели». Далее в тексте используется понятие «коллизия» и «пространственная коллизия».

Стоит отметить, что существует определенная содержательная несогласованность определений, которая заключается в том, что в одном определении под коллизией понимается дефект, а в другом – противоречие. Согласно нормативному определению ГОСТ 15467-79 Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения (с Изменением № 1) дефект – это каждое отдельное несоответствие продукции установленным требованиям. При этом установлена градация дефектов. Они разделены на явный, скрытый, критический, значительный, малозначительный, устранимый и неустраиваемый дефект, что дает некоторую методическую основу для возможной классификации коллизий. Определение понятия «противоречие» в законодательных актах и специализированных стандартах отсутствует. Если рассмотреть данное понятие, данное в Толковом словаре современного русского языка Д.Н. Ушакова, то противоречие – это мысль или положение, несовместимое с другим, опровергающее другое, несогласованность в мыслях, высказываниях и поступках, нарушение логики или правды.

Таким образом, основное содержательное

отличие определений заключается в причине появления коллизии, рассматриваемой в соответствующем определении. Причина возникновения дефекта – допущение неточности, совершение ошибки человеком, т. е. причина носит субъективный характер, в то время как противоречие, напротив, имеет признаки объективного явления. Исходя из вышеизложенного следует отметить, что до настоящего времени не сложилось единого (унифицированного) термина «коллизия», а существующие определения и классификации описывают лишь часть явления. В связи с этим, исследователи в своих работах интерпретируют коллизию достаточно индивидуально, часто пользуясь собственной (авторской) классификацией.

Например, в работе [10] используется термин «интеллектуальная коллизия», при этом предлагаемый термин не раскрывается, автор статьи [11] использует понятие «строительная коллизия», также не давая пояснение, что он под ней понимает.

Следует отметить, что во многих исследованиях, например, в [12, 13], анализ коллизий сводится к тому, что их выявление и устранение в цифровой информационной модели объекта капитального строительства на этапе проектирования осуществляется с единственной целью обеспечения возможности применения такой модели на этапе строительства.

В связи с этим, в данной работе коллизия рассмотрена как связующий элемент между этапами жизненного цикла объекта капитального строительства (проектирования и строительства), влияющий на их успешную реализацию.

Из-за отсутствия однозначного определения отсутствуют четкие критерии нахождения коллизий для технологической возможности последующего устранения. Это приводит к неоднозначности процесса сортировки после их выявления, а процесс устранения (исправления) в результате становится неэффективным. Следовательно, термин «коллизия» имеет достаточно сложную структуру, рассмотреть которую в полном объеме в рамках одной статьи не представляется возможным.

В связи с этим, авторы настоящего исследования, основываясь на значительном количестве работ [14–17], в которых коллизиями называются пространственные пересечения элементов ЦИМ ОКС, приняли решение рассматривать коллизии как геометрические пересечения, и задались целью предложить алгоритм отбора коллизий в виде пространственных пересечений элементов ЦИМ ОКС, наличие которых может привести к появлению негативных последствий на этапе строительства,

выраженных в проявлении дефектов проектирования или неточностей расчета объемов работ.

Для достижения цели был сформулирован ряд последовательных задач:

1. Предложить авторское определение «проектно-строительное пространственное пересечение элементов ЦИМ ОКС».

2. Методом экспертной оценки установить критерии применимости ЦИМ ОКС стадии рабочей документации на этапе строительства.

3. Описать модель дефектов, возникающих на этапах проектирования и строительства, в виде диаграммы Эйлера-Венна.

4. Предложить алгоритм отбора коллизий в виде пространственных пересечений элементов ЦИМ ОКС, наличие которых оказывает влияние на этап строительства, основываясь на критериях возможности применения ЦИМ ОКС в качестве рабочей документации.

### **МЕТОДЫ**

В работе предлагается авторское определение коллизии, которое не обусловлено природой ее появления, но связано только с наличием пространственного пересечения элементов ЦИМ ОКС и его негативным влиянием на этапе строительства.

Проектно-строительное пересечение элементов ЦИМ ОКС – это дефект или противоречие, содержащееся в ЦИМ ОКС, возникшее в результате пространственного пересечения геометрии двух или более элементов ЦИМ ОКС, в том числе из-за нарушений допустимых расстояний между элементами на этапе проектирования, которое приводит на этапе строительства к проявлению дефектов проектирования или неточностям расчета объемов работ.

Авторами был выполнен опрос 50 высококвалифицированных специалистов строительной отрасли Свердловской области: 27 – ведущие специалисты организаций технического заказчика, 10 – сотрудники организаций государственной экспертизы (аттестованные эксперты и руководители отделов), 13 – ведущие специалисты (в том числе главные конструкторы и архитекторы) крупных проектных организаций. В экспертном исследовании также приняли участие специалисты отделов технологий информационного моделирования.

По итогам проведения экспертного исследования и обработки его результатов, были выделены два основных критерия применимости ЦИМ ОКС в качестве рабочей документации на этапе строительства:

1. Отсутствие дефектов, появляющихся и проявляющихся на этапах проектирования и строительства, вследствие наличия проектных ошибок в ЦИМ ОКС. Пример такого дефекта:

реализуемое в ЦИМ, но недопустимое на практике пересечение труб отопительной системы, расположенных в толще стяжки перекрытия. На этапе строительства такое пересечение приведет к необходимости увеличения толщины стяжки для возможности корректного монтажа сетей, а значит к изменению решений в рабочей документации.

2. Возможность получения корректных объемов работ и материалов из ЦИМ ОКС. При использовании в качестве рабочей документации ЦИМ ОКС, модель объекта является базой для автоматического формирования объемов работ и материалов, которые необходимы для составления ведомости договорной цены. Эта ведомость используется для разработки детализированных графиков производства работ, графиков потребности строительства в материалах и иных ресурсах.

Следовательно, некорректные величины объемов, полученных из ЦИМ ОКС, оказывают негативное влияние на успешность реализации этапа строительства. Рассмотрим ситуацию, описанную выше, увеличение толщины выравнивающей стяжки, приведет к увеличению продолжительности работ, к изменению графиков потребности в ресурсах, а значит создаст необходимость корректировки строительных процессов. Для анализа причин появления дефектов на этапе строительства авторами был рассмотрен «Классификатор основных видов дефектов строительстве и промышленности строительных материалов» [18]. Это позволило выявить дефекты, которые зависят от наличия проектно-строительных пересечений элементов ЦИМ ОКС и могут быть устранены на этапе проектирования для разделов [19], соответствующих различным видам несущих конструкций: устройство монолитных конструкций, монтаж сборных конструкций, монтаж стальных конструкций, каменная кладка и устройство стеновых ограждающих конструкций.

Всего было выделено три группы дефектов в зависимости от причины их появления:

1. Дефекты, не вызванные ЦИМ ОКС. Причиной такого дефекта не может быть ЦИМ ОКС, используемая в качестве рабочей документации. Как правило, такой дефект появляется вследствие нарушения технологии выполнения строительных работ. Например, п. 46 [19]: нарушение правил зимнего бетонирования. 2. Дефекты, вызванные ЦИМ ОКС (проектно-строительное пересечение элементов).

Возможной причиной появления таких дефектов могут быть не только пересечения элементов, но и нарушение допустимых расстояний между элементами. Например, п. 43. [19]: стыковые соединения стержней, сеток и каркасов выполняются с нарушением нормативных требований.

При появлении смещений элементов и недопустимых пересечений, соединения могут быть представлены в нереализуемом виде (один стержень внутри другого), что приведет к проявлению дефекта на этапе строительства.

3. Дефекты, вызванные ЦИМ ОКС (негеометрические характеристики элементов). Например, п. 41 [19]: несоответствие параметров прочности, морозостойкости, плотности, водонепроницаемости, деформативности и других показателей бетона проекту и нормам. Данный дефект может появиться вследствие неверно заполненного параметра ЦИМ ОКС (неверного заполнения атрибутов элемента), при этом наличие пересечений и геометрическое положение элементов ЦИМ ОКС не влияют на его появление.

Для каждого из анализируемых разделов было рассчитано количество и процентное содержание дефектов, принадлежащих к каждой группе, по формуле (1),

$$P = \frac{A}{B} \cdot 100 \% \quad (1),$$

где  $A$  – количество дефектов в данном разделе строительно-монтажных работ по [19],  $B$  – общее количество дефектов в данном разделе строительно-монтажных работ по [19]. Результаты представлено в таблице.

Исходя из данных таблицы, можно отметить, что общее количество дефектов, которые вызваны ЦИМ ОКС, формируемой на этапе проектирования, составляет более 50 %. Отсюда следует, что половина дефектов, проявляющихся на этапе строительства, формируется в ЦИМ ОКС и может быть устранена на этапе проектирования.

При анализе несущих конструкций наблюдается прямая зависимость объема дефектов, возникающих при монтажных работах (для стальных конструкций – 71 %, для сборных конструкций – 54 %), от наличия проектно-строительных пересечений элементов ЦИМ ОКС.

В качестве гипотезы для последующего анализа и разработки методики было положено следующее утверждение: каждый дефект, появляющийся на этапе проектирования, может быть обнаружен, если будет опреде-

лена методика поиска и отбора проектно-строительных пересечений элементов ЦИМ ОКС. ЦИМ ОКС, созданная на этапе разработки проектной документации, влияет на распределение ресурсов в процессе строительства, поскольку на основании объемов работ и материалов, полученных из нее, осуществляется формирование ведомости договорной цены (для

коммерческих ОКС) или локальных смет (для ОКС, финансируемых из государственного бюджета), которые являются основой для разработки графика производства работ, планирования распределения ресурсов и материалов. Верное распределение ресурсов на этапе строительства влияет на срок и стоимость реализации строительного проекта.

Распределение дефектов по разделам строительного-монтажных работ

Distribution of defects by sections of construction and installation works

Наименования разделов строительно-монтажных работ по классификатору строительных дефектов	Количество / процентное содержание (шт. / %) дефектов, относящихся к разделу классификатора строительных дефектов			
	Дефекты, не вызванные ЦИМ ОКС	Дефекты, вызванные ЦИМ ОКС		
		Проектно-строительное пересечение элементов ЦИМ	Негеометрические характеристики элементов ЦИМ	Общее количество
Устройство монолитных конструкций	6 / 40 %	6 / 40 %	3 / 20 %	9 / 60 %
Монтаж сборных конструкций	8 / 31 %	14 / 54 %	4 / 15 %	18 / 69 %
Монтаж ограждающих стеновых конструкций	8 / 47 %	4 / 24 %	5 / 29 %	9 / 53 %
Монтаж стальных конструкций	6 / 29 %	15 / 71 %	0 / 0	15 / 71 %
Каменная кладка	8 / 42 %	5 / 26 %	6 / 32 %	11 / 58 %

Наличие проектно-строительного пересечения элементов ЦИМ ОКС может говорить о том, что в одной области пространства ЦИМ ОКС размещено два элемента, каждый из которых занимает позицию в ведомости договорной цены или локальной смете [20].

Таким образом, область пересечения двух или более элементов ЦИМ ОКС учитывает свой объем минимум дважды, а значит каждое пересечение элементов ЦИМ ОКС приводит к увеличению погрешности расчета объемов, получаемых из ЦИМ ОКС.

Основным методом контроля такой погрешности является допуск, указанный в матрице пересечений, которая формируется в задании на разработку ЦИМ ОКС.

Таким образом, наличие проектно-строительных пересечений элементов ЦИМ ОКС может быть как причиной проявления дефектов

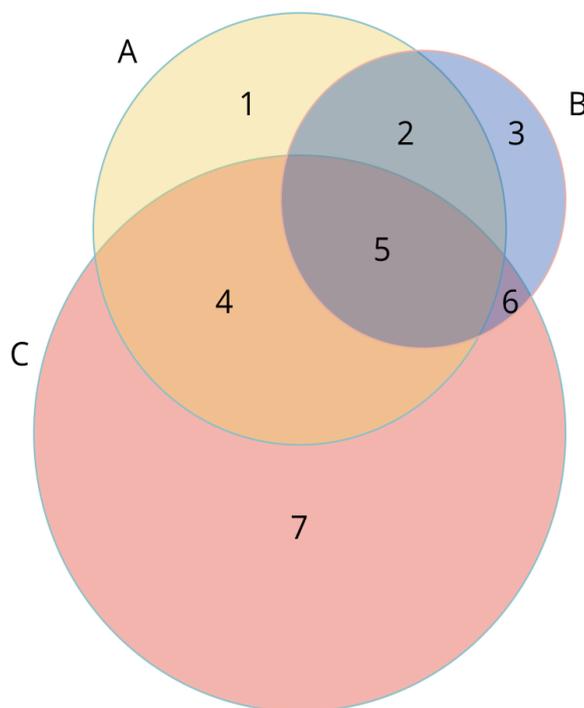
на этапе строительства, так и являться причиной получения неправильной ведомости договорной цены. Следовательно, разработка корректной методики отбора проектно-строительных пересечений элементов ЦИМ ОКС может производиться на основании обоих критериев применимости. В качестве инструмента такого отбора авторы рассматривают матрицу пересечений, содержащую корректные допуски, на основании которых можно выявлять наличие проектно-строительных пересечений элементов ЦИМ ОКС.

#### **РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Руководствуясь полученными промежуточными результатами, а также исследованиями [21–29], авторами была сформирована модель множеств дефектов, возникающих на этапах проектирования и строительства, которая представлена в виде диаграммы Эйлера-

Венна (рис. 1). Множество  $A$  – множество дефектов, появляющихся на этапе проектирования, дефекты включают в себя пересечения элементов ЦИМ ОКС, которые могут быть отфильтрованы по требованиям матрицы пересечений (область 2 и 5), а также дефекты, не имеющие отношение к пересечениям элементов ЦИМ ОКС (область 1 и 4). Множество  $B$  – множество пересечений элементов ЦИМ ОКС, область 3 включает в себя пересечения, кото-

рые не являются проектно-строительными пересечениями элементов ЦИМ ОКС по требованиям матрицы пересечений, они не приводят к появлению дефектов на этапе проектирования и строительства. Множество  $C$  – множество дефектов, которые проявились на этапе строительства. Областью 7 обозначены дефекты, возникновение которых не связано с этапом проектирования, эту область можно отнести к столбцу 2 таблицы.



**Рис. 1. Модель множеств дефектов, возникающих на этапах проектирования и строительства, в виде диаграммы Эйлера-Венна**  
**Fig. 1. Model of sets of defects arising at the design and construction stages in the form of an Euler-Venn diagram**

Областями 4 и 5 обозначены множества дефектов, появляющихся на этапе проектирования и проявляющихся на этапе строительства, при этом область 4 соответствует столбцу 4 таблицы. Область 5 обозначает множество проектно-строительных пересечений элементов ЦИМ ОКС, что соответствует столбцу 3. Область 2 обозначает геометрические пересечения, которые отфильтрованы по требованиям матрицы пересечений, но не приводят к дефектам на этапе строительства. Область 6 обозначает множество пересечений элементов ЦИМ ОКС, в результате которых возможно возникновение строительных дефектов, при этом в процессе проектирования такие коллизии не являлись дефектом в соответствии с требованиями матрицы пересечений.

Возникновение таких ситуаций возможно

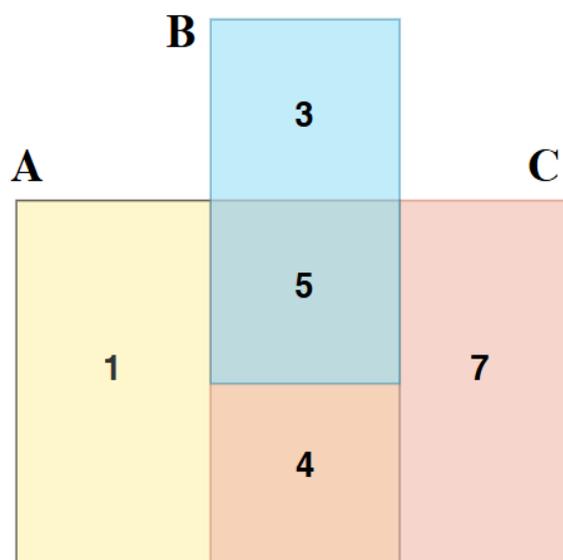
при применении проектной организацией неверной матрицы пересечений. Поскольку на сегодняшний день в законодательстве отсутствуют единые требования к матрице пересечений, организации устанавливают ее самостоятельно.

Следует отметить, что заказчик выступает основным бенефициаром возможностей ЦИМ ОКС, а значит формирует структуру и содержание требований к ЦИМ ОКС, включающие матрицу пересечений.

В настоящем исследовании авторы основывались на суждении, что требования, содержащиеся в матрице пересечений, позволяют однозначно выявлять пересечения, которые можно считать дефектами проектирования и которые приводят к проявлению дефектов на этапе строительства.

Следовательно, матрица сформирована таким образом, что любое пересечение, упомянутое в ней, является дефектом проектирования и будет приводить к проявлению дефекта на этапе строительства, а любое пересечение, не упомянутое в ней, не приведет к проявлению дефекта на этапе строительства. При таком подходе области 2 и 6 из дальнейшего анализа можно исключить. Уточненная модель множеств дефектов, возникающих на этапах проектирования и строительства, представлена на рис. 2. По итоговой модели дефектов, возникающих на этапах проектирования и строительства, в виде диаграммы Эйлера-

Венна, можно заключить, что область 5 – искомая область, которая обозначает множество проектно-строительных пересечений элементов ЦИМ ОКС. Формирование алгоритма отбора коллизий в виде пространственных пересечений элементов ЦИМ ОКС, наличие которых оказывает влияние на этап строительства, основывается на выполнении следующего условия – все пересечения, отфильтрованные с помощью матрицы пересечений, могут привести к проявлению дефекта на этапе строительства или к некорректному значению объемов работ, полученных из ЦИМ ОКС (причина исключения множеств 2 и 6).



**Рис. 2. Модель дефектов, возникающих на этапах проектирования и строительства, в виде диаграммы Эйлера-Венна после корректировки (исключение областей 2 и 6)**  
**Fig. 2. Model of defects arising at the design and construction stages, in the form of an Euler-Venn diagram after adjustment (excluding areas 2 and 6)**

Основываясь на введенном определении проектно-строительных пересечений элементов ЦИМ ОКС и критериях применимости ЦИМ ОКС в качестве рабочей документации на этапе строительства, а также на сформированной и откорректированной модели множества дефектов, было установлено следующее:

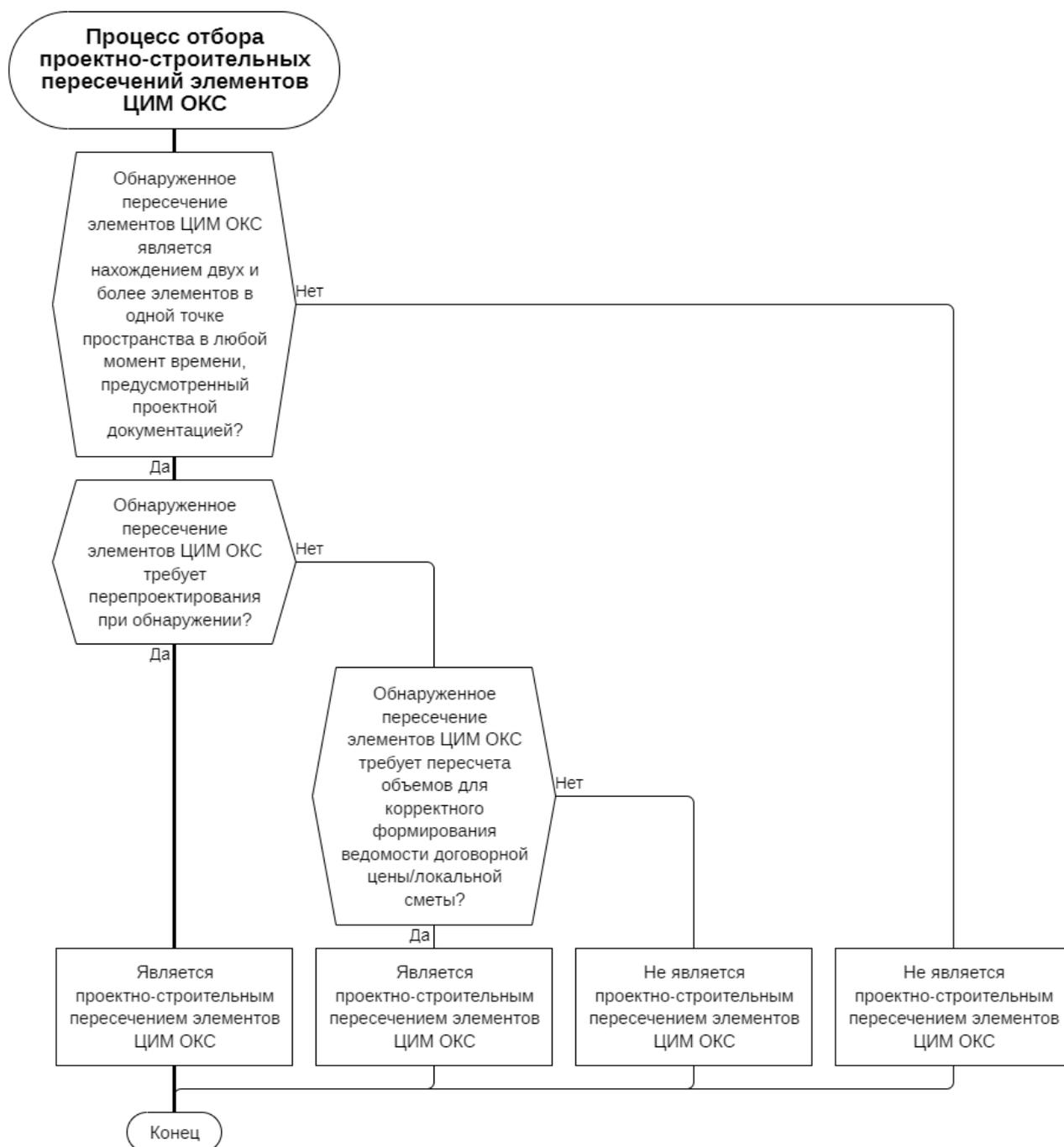
- проектно-строительное пересечение элементов ЦИМ ОКС приводит к проявлению дефекта на этапе строительства (исключаются области 1 и 3);
- проектно-строительное пересечение элементов ЦИМ ОКС появляется и может быть выявлено на этапе проектирования (исключается область 7);
- проектно-строительное пересечение элементов ЦИМ ОКС является расположением части геометрических тел двух и более элементов в одной точке пространства (исключается

область 4).

Таким образом, сформулировано три необходимых и достаточных критерия отбора проектно-строительных пересечений элементов ЦИМ ОКС.

Следует отметить, что основным инструментом отбора является матрица пересечений, которая является условием выявления пересечений, которые либо приводят к проявлению дефекта на этапе строительства, либо некорректному значению объемов работ, получаемых из ЦИМ ОКС.

На основании представленного анализа, авторами был разработан алгоритм формирования матрицы пересечений, позволяющий однозначно выявлять пересечения, которые можно считать дефектами проектирования и которые приводят к проявлению дефектов на этапе строительства (рис. 3).



**Рис. 3. Алгоритм формирования матрицы пересечений для выявления коллизий в виде проектно-строительных пересечений элементов цифровой информационной модели объекта капитального строительства**

**Fig. 3. Algorithm for forming an intersection matrix to identify collisions in the form of design and construction intersections of elements of a digital information model of a capital construction facility**

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного авторами исследования термина «коллизия» в существующей нормативной базе было установлено, что на сегодняшний день существует содержательное различие в терминологии, а также отсутствует единый термин. Все это оказывает

влияние на этап строительства, вследствие чего не определены четкие критерии выявления коллизий для технологической возможности последующего устранения. Для устранения выявленной проблемы предложено авторское определение «проектно-строительное пространственное пересечение элементов ЦИМ

ОКС», необусловленное природой его появления, но имеющее практический критерий.

В результате проведенного исследования были выявлены критерии применимости ЦИМ ОКС на стадии рабочей документации на этапе строительства – отсутствие дефектов, появляющихся и проявляющихся на этапах проектирования и строительства, вследствие наличия проектных ошибок в ЦИМ ОКС, возможность получения корректных объемов работ и материалов из ЦИМ ОКС.

Применяя полученные критерии при анализе дефектов для различных разделов строительно-монтажных работ, включающих возведение несущих конструкций, авторы установили, что общее количество дефектов, которые вызваны ЦИМ ОКС, формируемой на этапе проектирования, составляет более 50 % дефектов, проявляющихся на этапе строительства.

Также авторами была описана модель множеств дефектов, возникающих на этапах проектирования и строительства, в виде диаграммы Эйлера-Венна. Было установлено, что основным инструментом для идентификации проектно-строительных пространственных пе-

ресечений элементов ЦИМ ОКС является матрица пересечений, позволяющая однозначно выявлять пересечения, которые можно считать дефектами проектирования и которые приводят к проявлению дефектов на этапе строительства.

Авторы описали алгоритм формирования матрицы пересечений, позволяющей однозначно выявлять пересечения, которые можно считать дефектами проектирования и которые приводят к проявлению дефектов на этапе строительства, который можно применять для дальнейших исследований пересечений элементов ЦИМ ОКС, негативно влияющих на этап строительства.

Основываясь на сформулированных авторами трех необходимых и достаточных критериях отбора проектно-строительных пересечений элементов ЦИМ ОКС и на описанном алгоритме формирования матрицы пересечений для выявления коллизий в виде проектно-строительных пересечений элементов ЦИМ ОКС, можно детализировать алгоритм до отдельных строительно-монтажных работ и описать процесс формирования правил матрицы пересечений и допусков к ней.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Червова Н.А., Лепешкина Д.О. Инструменты поиска коллизий инженерных систем при работе в BIM-платформах // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки. Новосибирск: Ассоциация научных сотрудников «Сибирская академическая книга», 2018. С. 22–29. EDN: XONKXJ.
2. Лоткин В.С. Анализ технологий проверки коллизий информационной модели в строительстве // Строительство – формирование среды жизнедеятельности. Сб. материалов семинара молодых ученых XXV Междунар. науч. конф. (г. Москва, 20–22 апреля 2022 г.). М., 2022. С. 109–114. EDN: XNISSV.
3. Захарова Е.К., Зверев Д.С. Анализ эффективности применения информационного моделирования в организации и управлении строительством // Управление проектами. Материалы Всеросс. молодежной конф. (г. Санкт-Петербург, 19 апреля 2018 г.). СПб., 2018. С. 40–44. EDN: UWYVKK.
4. Боков С.С., Баркин А.О., Илларионова Л.А. Использование ТИМ для обнаружения коллизий при проектировании фундаментов в существующей застройке // Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта. Межвузовский сборник научных трудов. М.: Изд-во Российского университета транспорта (МИИТ), 2023. С. 339–346. EDN: AGHEEH.
5. Мухаметзянова А.Г., Халилов А.Ф., Цепов Ю.А. Оценка стоимости строительства на основе технологии информационного моделирования // Вестник технического университета. 2025. Т. 28. № 9. С. 93–101. [https://doi.org/10.55421/3034-4689\\_2025\\_28\\_9\\_93](https://doi.org/10.55421/3034-4689_2025_28_9_93). EDN: FBVEGY.
6. Приходько А.В. Анализ практики применения ТИМ в жилищном строительстве в Москве // Наука, технологии, общество – НТО-II-2022. Сб. научных статей по материалам II Всеросс. науч. конф. (г. Красноярск, 28–30 июля 2022 г.). Красноярск, 2022. С. 183–187. <https://doi.org/10.47813/nto.2.2022.5.183-187>. EDN: SRUFNU.
7. Панькин М.И. Анализ методов и систем автоматизации проектирования в строительстве // Магистерские чтения. Сборник статей участников регионального научно-практического семинара. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2024. С. 114–125. EDN: FTAQVE.
8. Реммельг Я.А., Шиянов М.А., Кучеренко А.С. Автоматизированные проверки на коллизии в программе Pilot-BIM // Образование. Наука. Производство. Сб. докладов XIV Междунар. молодежного форума (г. Белгород, 13–14 октября 2022 г.). Белгород, 2022. С. 223–227. EDN: JEUFWA.
9. Захарова Ю., Шишкина М. Автоматические проверки на коллизии в Pilot-BIM // САПР и графика. 2021. № 6. С. 30–36. EDN: NQPPDK.
10. Алиева Д.Н. Разработка алгоритма поиска коллизий при построении BIM-модели // Строительство

– формирование среды жизнедеятельности. XXI Международная научная конференция: сборник материалов семинара «Молодежные инновации» (г. Москва, 25–27 апреля 2018 г.). М., 2018. С. 8–10. EDN: USLUBL.

11. Мошка И.Н. Инжиниринг – инструмент повышения рентабельности // Жилищное строительство. 2017. № 3. С. 68–70. EDN: YHZFET.

12. Bitaraf I., Salimpour A., Elmi P., Shirzadi Javid A.A. Improved Building Information Modeling Based Method for Prioritizing Clash Detection in the Building Construction Design Phase // Buildings. 2024. Vol. 14. Iss. 11. P. 1–19. <https://doi.org/10.3390/buildings14113611>.

13. Фомин Н.И., Серёгина Н.Ю., Сербин Н.А. Разработка структуры требований к цифровым информационным моделям объектов капитального строительства на основе показателей качества // Строительное производство. 2024. № 1. С. 36–45. [https://doi.org/10.54950/26585340\\_2024\\_1\\_36](https://doi.org/10.54950/26585340_2024_1_36). EDN: BAWJCB.

14. Ершов И.С. Исследование эффективности поиска коллизий в геометрических моделях при разных способах представления объектов // Межвузовская науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых специалистов имени Е.В. Арменского (г. Москва, 09–16 апреля 2024 г.). М., 2024. С. 68–71. EDN: ISAQRM.

15. Махутова В.Э., Яценко В.П. Реконструкция объектов культурного наследия с использованием BIM-технологий // Молодежный вестник ИргТУ. 2023. Т. 13. № 4. С. 613–618. EDN: ТМКРWT.

16. Червова Н. А., Лепешкина Д.О. Инструменты поиска коллизий инженерных систем при работе в BIM-платформах // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки. Электронный сборник статей по материалам LXIV студенческой международной научно-практической конференции. Новосибирск: Ассоциация научных сотрудников «Сибирская академическая книга», 2018. С. 22–29. EDN: XONKXJ.

17. Казанов А.Н. Современный контроль качества строительства при реконструкции // Скиф. Вопросы студенческой науки. 2023. № 1. С. 477–483. EDN: HSRFOQ.

18. Варламов И.П. Автоматизация поиска и устранения коллизий между инженерными системами и архитектурными элементами при информационном моделировании строительных объектов // Дни студенческой науки. Сб. докладов науч.-техн. конф. по итогам науч.-исследов. работ студентов института цифровых технологий и моделирования в строительстве НИУ МГСУ (г. Москва, 27 февраля – 03 марта 2023 г.). М., 2023. С. 244–247. EDN: DJGYQT.

19. Ерофеев В.Т., Пиксайкина А.А., Булгаков А.Г., Ермолаев В.В. Цифровизация в строительстве, как эффективный инструмент современного развития отрасли // Эксперт: теория и практика. 2021. № 3. С. 9–14. [https://doi.org/10.51608/26867818\\_2021\\_3\\_9](https://doi.org/10.51608/26867818_2021_3_9). EDN: LJDPKJ.

20. Козленко Т.А., Придвижкин С.В. BIM и VR: разработка программного модуля для интеграции информационного моделирования зданий и виртуальной реальности // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2021. Т. 18. № 4. С. 440–449. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-4-440-449>. EDN: HBRRUH.

21. Каракозова И.В., Малыха Г.Г., Куликова Е.Н., Павлов А.С., Панин А.С. Организационное сопровождение BIM-технологий // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. № 12. С. 1682–1637. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2019.12.1628-1637>. EDN: JPXXGN.

22. Asif M., Naeem G., Khalid M. Digitalization for Sustainable Buildings: Technologies, Applications, Potential, and Challenges // Journal of Cleaner Production. 2024. Vol. 450. P. 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141814>.

23. Musarat M.A., Alaloul W.S., Zainuddin S.M.B., Qureshi A.H., Maqsoom A. Digitalization in Malaysian Construction Industry: Awareness, Challenges and Opportunities // Results in Engineering. 2024. Vol. 21. P. 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102013>.

24. Степанов А.В., Матвеева М.В., Пешкова Е.С. Цифровизация строительной отрасли: перспективы и вызовы // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 2. С. 356–366. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-2-356-366>. EDN: SJHHT.

25. Дмитриева Т.Л., Яценко 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: JVVJYQ.

26. Panya D.S., Taehoon Kim, Seungyeon Choo An Interactive Design Change Methodology Using a BIM-Based Virtual Reality and Augmented Reality // Journal of Building Engineering. 2023. Vol. 68. P. 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106030>.

27. Tzu-Yi Chuang, Min-Jung Yang Change Component Identification of BIM Models for Facility Management Based On Time-Variant BIMs or Point Clouds // Automation in Construction. 2023. Vol. 147. P. 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104731>.

28. Condotta M., Scanagatta C. BIM-Based Method to Inform Operation and Maintenance Phases through a Simplified Procedure // Journal of Building Engineering. 2023. Vol. 65. P. 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105730>.

29. Yi Shi, Jiuping Xu BIM-Based Information System for Econo-Enviro-Friendly End-Of-Life Disposal of Construction and Demolition Waste // *Automation in Construction*. 2021. Vol. 125. P. 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103611>.

**REFERENCES**

1. Chervova N.A., Lepeshkina D.O. Tools for Detecting Collisions of Engineering Systems When Working in BIM Platforms. In: *Scientific Community of Students of the XXI Century. Technical Sciences*. Novosibirsk: Association of Scientific Employees Siberian Academic Book, 2018. P. 22–29. (In Russ.). EDN: XONKXJ.
2. Lotkin V.S. Analysis of Information Model Collision Checking Technologies in Construction. In: *Stroitelstvo – formirovanie sredy zhiznedeyatel'nosti. Sbornik materialov seminarov molodykh uchenykh XXV Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii = Construction – Shaping the Living Environment. Proceedings of the Young Scientists' Seminar at the XXV International Scientific Conference*. 20–22 April 2022, Moscow. Moscow; 2022. P. 109–114. (In Russ.). EDN: XNISSV.
3. Zakharova E.K., Zverev D.S. Analysis of Effectiveness of Application of Information Modeling in the Organization and Management of Construction. In: *Upravlenie proektami. Materialy Vserossiiskoi molodezhnoi konferentsii = Project Management. Proceedings of the All-Russian Youth Conference*. 19 April 2018, Saint Petersburg. Saint Petersburg; 2018. P. 40–44. (In Russ.). EDN: UWYVKC.
4. Bokov S.S., Barkin A.O., Illarionova L.A. Using TIM to Detect Clashes in Foundation Design for Existing Buildings. In: *Modern Problems of Improving Railway Transport Operations. Interuniversity Collection of Scientific Papers*. Moscow: Publishing House of the Russian University of Transport (MIIT), 2023. P. 339–346. (In Russ.). EDN: AGHEEH.
5. Mukhametzyanova A.G., Khalilov A.F., Tsepov Yu.A. Estimation of Construction Costs Based on Building Information Model. *Herald of Technological University*. 2025;28(9):93-101. (In Russ.). [https://doi.org/10.55421/3034-4689\\_2025\\_28\\_9\\_93](https://doi.org/10.55421/3034-4689_2025_28_9_93). EDN: FBBEGY.
6. Prikhodko A.V. Analysis of the Practice of Using Tim in Housing Construction in Moscow. In: *Nauka, tekhnologii, obshchestvo – NTO-II-2022. Sbornik nauchnykh statei po materialam II Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii = Science, Technology, and Society – NTS-II-2022. Collection of Scientific Articles Based on the Materials of the II All-Russian Scientific Conference*. 28–30 July 2022, Krasnoyarsk. Krasnoyarsk; 2022. P. 183–187. (In Russ.). <https://doi.org/10.47813/nto.2.2022.5.183-187>. EDN: SRUFNU.
7. Pankin M.I. Analysis of Methods and Systems for Design Automation in Construction. In: *Master's Readings. Collection of Articles by Participants of the Regional Scientific and Practical Seminar*. Saint Petersburg: Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, 2024. P. 114–125. (In Russ.). EDN: FTAQVE.
8. Remmelg Ya.A., Shiyanov M.A., Kucherenko A.S. Automated Clash Checks in the Pilot-BIM Program. In: *Obrazovanie. Nauka. Proizvodstvo. Sbornik dokladov XIV Mezhdunarodnogo molodezhnogo foruma = Education. Science. Production. Collection of Reports of the XIV International Youth Forum*. 13–14 October 2022, Belgorod. Belgorod; 2022. P. 223–227. (In Russ.). EDN: JEUFWA.
9. Zakharova Yu., Shishkina M. Automatic Clash Checks in Pilot-BIM. *SAPR i grafika*. 2021;6:30-36. (In Russ.). EDN: NQPPDK.
10. Alieva D.N. Development of an Algorithm for Detecting Clashes in Building a BIM Model. In: *Stroitelstvo – formirovanie sredy zhiznedeyatel'nosti. XXI Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya: sbornik materialov seminarov «Molodezhnye innovatsii» = Construction – Formation of the Living Environment. XXI International Scientific Conference: Proceedings of the Seminar Youth Innovations*. 25–27 April 2018, Moscow. Moscow; 2018. P. 8–10. (In Russ.). EDN: USLUBL.
11. Moshka I.N. Engineering is an Instrument of Rise in Profitability. *Housing Construction*. 2017;3:68-70. (In Russ.). EDN: YHZFET.
12. Bitaraf I., Salimpour A., Elmi P., Shirzadi Javid A.A. Improved Building Information Modeling Based Method for Prioritizing Clash Detection in the Building Construction Design Phase. *Buildings*. 2024;14(11):1-19. <https://doi.org/10.3390/buildings14113611>.
13. Fomin N.I., Seregina N.Yu., Serbin S.A. Development of a Requirements Structure for Building Information Models of Capital Construction Assets Based on Quality Indicators. *Construction Production*. 2024;1:36-45. (In Russ.). [https://doi.org/10.54950/26585340\\_2024\\_1\\_36](https://doi.org/10.54950/26585340_2024_1_36). EDN: BAWJCB.
14. Ershov I.S. Study of the Efficiency of Collision Detection in Geometric Models with Different Methods of Representing Objects. In: *Mezhvuzovskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya studentov, aspirantov i molodykh spetsialistov imeni E.V. Armenskogo = Interuniversity Scientific and Technical Conference of Students, Postgraduates and Young Specialists Named after E.V. Armensky*. 09–16 April 2024, Moscow. Moscow; 2024. P. 68–71. (In Russ.). EDN: ISAQRM.

15. Makhutova V.E., Yashchenko V.P. Reconstruction of Cultural Heritage Sites Using BIM Technologies. *Young Researchers' Journal of ISTU*. 2023;13(4):613-618. (In Russ.). EDN: TMKPWT.
16. Chervova N. A., Lepeshkina D.O. Tools for Finding Collisions in Engineering Systems When Working in BIM Platforms. In: *Scientific Community of Students of the 21st Century. Technical Sciences. Electronic Collection of Articles Based on the Materials of the LXIV Student International Scientific and Practical Conference*. Novosibirsk: Association of Researchers Siberian Academic Book, 2018. P. 22–29. (In Russ.). EDN: XONKXJ.
17. Kazanov A.N. Modern Quality Control of Construction during Reconstruction. *Skif. Voprosy studentcheskoi nauki*. 2023;1:477-483. (In Russ.). EDN: HSRFOQ.
18. Varlamov I.P. Automation of Searching and Eliminating Collisions between Engineering Systems and Architectural Elements in the Information Modeling of Construction Objects. In: *Dni studentcheskoi nauki. Sbornik докладov nauchno-tekhnicheskoi konferentsii po itogam nauchno-issledovatel'skikh rabot studentov instituta tsifrovyykh tekhnologii i modelirovaniya v stroitelstve NIU MGSU = Days of Student Science. Collection of Reports of the Scientific and Technical Conference on the Results of Research Work of Students of the Institute of Digital Technologies and Modeling in Construction of the NRU MGSU*. 27 February – 03 March 2023, Moscow. Moscow, 2023. P. 244–247. (In Russ.). EDN: DJGYQT.
19. Erofeev V.T., Piksaykina A.A., Bulgakov A.G., Ermolaev V.V. Digitalization in Construction as an Effective Tool for Modern Development of the Industry. *Expert: Theory and Practice*. 2021;3:9-14. (In Russ.). [https://doi.org/10.51608/26867818\\_2021\\_3\\_9](https://doi.org/10.51608/26867818_2021_3_9). EDN: LJDPKJ.
20. Kozlenko T.A., Pridvishkin S.V. BIM and VR: Development of A Software Module for the Integration of Building Information Modelling and Virtual Reality. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2021;18(4):440-449. (In Russ.). <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-4-440-449>. EDN: HBRRUH.
21. Karakozova I.V., Malykha G.G., Kulikova E.N., Pavlov A.S., Panin A.S. Organizational Support of BIM-Technologies. *Monthly Journal on Construction and Architecture*. 2019;14(12):1682-1637. (In Russ.). <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2019.12.1628-1637>. EDN: JPXXGN.
22. Asif M., Naeem G., Khalid M. Digitalization for Sustainable Buildings: Technologies, Applications, Potential, and Challenges. *Journal of Cleaner Production*. 2024;450:1-19. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141814>.
23. Musarat M.A., Alaloul W.S., Zainuddin S.M.B., Qureshi A.H., Maqsoom A. Digitalization in Malaysian Construction Industry: Awareness, Challenges and Opportunities. *Results in Engineering*. 2024;21:1-9. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102013>.
24. Stepanov A.V., Matveeva M.V., Peshkova E.S. Digitalization of the Construction Industry: Prospects and Challenges. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(2):356-366. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-2-356-366>. EDN: SJHHKT.
25. 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: JVVJYQ.
26. Panya D.S., Taehoon Kim, Seungyeon Choo An Interactive Design Change Methodology Using a BIM-Based Virtual Reality and Augmented Reality. *Journal of Building Engineering*. 2023;68:1-11. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106030>.
27. Tzu-Yi Chuang, Min-Jung Yang Change Component Identification of BIM Models for Facility Management Based On Time-Variant BIMs or Point Clouds. *Automation in Construction*. 2023;147:1-14. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104731>.
28. Condotta M., Scanagatta C. BIM-Based Method to Inform Operation and Maintenance Phases through a Simplified Procedure. *Journal of Building Engineering*. 2023;65:1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105730>.
29. Yi Shi, Jiuping Xu BIM-Based Information System for Econo-Enviro-Friendly End-Of-Life Disposal of Construction and Demolition Waste. *Automation in Construction*. 2021;125:1-12. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103611>.

#### Информация об авторах

**Геворкян Армен Карпетович**,  
магистр,  
Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,  
Институт строительства и архитектуры,  
620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 17, Россия,  
e-mail: Armengevorkyan94@mail.ru  
<https://orcid.org/0009-0002-5559-0071>

#### Information about the authors

**Armen K. Gevorkyan**,  
Master's Degree,  
Ural Federal University named after the first  
President of Russia B.N. Yeltsin, Institute  
of Civil Engineering and Architecture,  
17 Mira St., Ekaterinburg 620002, Russia,  
e-mail: Armengevorkyan94@mail.ru  
<https://orcid.org/0009-0002-5559-0071>

**Сербин Сергей Андреевич,**

к.т.н., доцент,  
Уральский федеральный университет имени  
первого Президента России Б.Н. Ельцина,  
Институт строительства и архитектуры,  
620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 17, Россия,  
e-mail: s.serbin@egov66.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-7795-1205>  
Author ID: 1274294

**Sergey A. Serbin,**

Cand. Sci (Eng.), Associate Professor,  
Ural Federal University named after the first  
President of Russia B.N. Yeltsin, Institute of Civil  
Engineering and Architecture,  
17 Mira St., Ekaterinburg 620002, Russia,  
e-mail: s.serbin@egov66.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-7795-1205>  
Author ID: 1274294

**Фомин Никита Игоревич,**

к.т.н., доцент, заведующий кафедрой  
промышленного, гражданского строительства  
и экспертизы недвижимости,  
директор института строительства  
и архитектуры,  
Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,  
620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 17,  
Россия,  
✉ e-mail: ni.fomin@urfu.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-7095-7161>  
Author ID: 241981

**Nikita I. Fomin,**

Cand. Sci (Eng.), Associate Professor,  
Head of the Department of Industrial  
and Civil Engineering and Estate Expertise,  
Head of the Institute of Civil Engineering  
and Architecture,  
Ural Federal University named after the first  
President of Russia B.N. Yeltsin,  
17 Mira St., Ekaterinburg 620002,  
Russia,  
✉ e-mail: ni.fomin@urfu.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-7095-7161>  
Author ID: 241981

**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 04.08.2025.  
Одобрена после рецензирования 10.09.2025.  
Принята к публикации 25.09.2025.

**Information about the article**

The article was submitted 04.08.2025.  
Approved after reviewing 10.09.2025.  
Accepted for publication 25.09.2025.



## Пути оптимизации железобетонных конструкций заводского изготовления на основе прикладных методов теории надежности

И.В. Дудина<sup>1✉</sup>, В.М. Камчаткина<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Братский государственный университет, Братск, Россия

**Аннотация.** Целью данной работы является выбор направлений оптимизации железобетонных конструкций заводского изготовления на основе прикладных методов теории надежности, в частности вероятностных методов. Критерием необходимости оптимизации является существенное превышение расчетного показателя надежности над нормативным. Методы исследований включают вероятностно-статистическое компьютерное моделирование и натурные испытания на комбинате «Братскжелезобетон». В представленной работе были получены результаты оптимизации двух видов сборных железобетонных конструкций: многопустотных панелей перекрытия серии 1.141-1 и балок покрытия со смешанным армированием серии 1.462.1-1/88. Оптимизация многопустотных панелей перекрытия выполнялась по двум направлениям: снижение толщины панелей ( $h = 160$  мм) и разработка облегченных панелей для малоэтажного строительства; замена одного класса напрягаемой арматуры другим более высокопрочным, вызванная производственной необходимостью для обеспечения начальной надежности этих конструкций. Выполненные исследования показали, что проблема оптимизации многопустотных панелей перекрытия является логически обоснованной как с точки зрения экономии ресурсов, так и повышения их надежности. В результате вероятностных расчетов балок со смешанным армированием была установлена область оптимального количества ненапрягаемой рабочей арматуры при коэффициенте частичного преднапряжения в диапазоне  $K_p = 0,65...0,75$ . Моделирование по разработанным программам доказало, что учет нелинейности деформирования позволяет более точно выявить резервы снижения материалоемкости конструкций и выполнить оптимизацию ее армирования.

**Ключевые слова:** железобетонные конструкции, снижение материалоемкости, оптимизация, надежность, вероятностные методы, расчетные модели

**Для цитирования:** Дудина И.В., Камчаткина В.М. Пути оптимизации железобетонных конструкций заводского изготовления на основе прикладных методов теории надежности // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 4. С. 688–701. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-4-688-701>. EDN: LUBYEL.

### Original article

## Ways to optimize factory-made reinforced concrete structures based on applied methods of reliability theory

Irina V. Dudina<sup>1✉</sup>, Varvara M. Kamchatkina<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Bratsk State University, Bratsk, Russia

**Abstract.** The purpose of this work is to select the areas of optimization of factory-made reinforced concrete structures based on applied methods of reliability theory, in particular probability methods. The criterion for the need for optimization is a significant excess of the calculated reliability indicator over the normative one. Research methods include probability-statistical computer modeling and field tests at the Bratskzhelezobeton plant. In the presented work, the results of optimization of two types of precast reinforced concrete structures were obtained: multi-cavity floor panels of the 1.141-1 series and coating beams with mixed reinforcement of the 1.462.1-1/88 series. Optimization of multi-cavity floor panels was carried out in two directions: reduction of panel thickness ( $h = 160$  mm) and development of lightweight

panels for low-rise construction; replacement of one class of tensioned reinforcement with another more high-strength, caused by industrial necessity to ensure the initial reliability of these structures. The performed studies have shown that the problem of optimizing multi-cavity floor panels is logically justified both in terms of saving resources and increasing their reliability. As a result of probabilistic calculations of beams with mixed reinforcement, the optimal amount of non-stressed working reinforcement was determined with a partial prestressing coefficient in the range of  $K_r = 0.65 \dots 0.75$ . Modeling using the developed programs proved that taking into account the nonlinearity of deformation makes it possible to more accurately identify reserves for reducing the material consumption of structures and optimize its reinforcement.

**Keywords:** reinforced concrete structures, reduction in material consumption, optimization, reliability, probabilistic methods, calculation models

**For citation:** Dudina I.V., Kamchatkina V.M. Ways to optimize factory-made reinforced concrete structures based on applied methods of reliability theory. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2025;15(4):688-701. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-4-688-701>. EDN: LUBYEL.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время сфера строительства является одной из областей народного хозяйства, которая развивается высокими темпами и в значительной степени влияет на развитие других отраслей и экономики в целом. В то же время строительство представляет собой одну из наиболее материалоемких производственных отраслей, что делает уменьшение материалоемкости строительных конструкций приоритетной задачей современной науки.

Особое значение в этом контексте приобретает выявление резервов снижения материалоемкости железобетонных конструкций (ЖБК) массового индустриального изготовления.

Основное внимание уделяется нахождению оптимального баланса между экономичностью и безопасностью конструкций в процессе их эксплуатации [1–5].

Совершенствование проектных решений, в частности путем оптимизации конструкций, может существенно способствовать решению этой проблемы, уменьшая их материалоемкость [6–9]. На основании выполненного анализа ресурсов снижения материалоемкости ЖБК заводского изготовления было установлено два ключевых уровня задач [12–13]. Первый уровень непосредственно связан с экономией стали и цемента за счет повышения прочностных характеристик конструкционных материалов и улучшения параметров химизации технологического процесса [3, 12]. Второй уровень задач предполагает совершенствование расчетного аппарата ЖБК, включая вероятностный подход, внедрение новых эффективных конструкций и технологий [1, 2, 5, 12–17]. Решение проблемы оптимизации конструкций

требует разработки ряда вопросов, среди которых ключевыми являются:

- формулирование основных критериев оптимальности конструкции [1, 2, 4, 12–15];
- выбор оптимальной расчетной модели, методов и алгоритмов решения задачи оптимизации [5, 6, 11, 14–17];
- учет реальных условий эксплуатации конструкции [18–24].

При решении оптимизационных задач необходимо учитывать возможность альтернативного проектирования ЖБК.

Главным критерием при этом является обеспечение требуемого уровня надежности и долговечности конструкций зданий и сооружений [1–3].

Решение подобных задач осуществляется с помощью вероятностных подходов и закономерностей, основанных на фундаментальных законах природы, что представляет теорию надежности фундаментальной наукой [1, 2, 23, 24], а исследования строительных конструкций на ее основе – прикладными [2, 4, 11–15, 25–27]. Основные направления исследований, базирующиеся на прикладных методах теории надежности, включают:

- проектирование строительных конструкций с заданным уровнем надежности и их оптимизация [1, 2, 5–9, 11–15];
- контроль качества сборных ЖБК на стадии изготовления с интегральной оценкой их надежности [1, 2, 4, 10–13];
- аналитическое прогнозирование надежности строительных конструкций, зданий и сооружений на основе многолетнего мониторинга с применением вероятностно-статистических моделей [1, 2, 5, 18–22].

Все перечисленные направления исследований строительных конструкций могут быть рассмотрены применительно к разным стадиям жизненного цикла зданий и сооружений, что позволяет с достаточной точностью оценить их долговечность [1, 2].

Целью данной работы является рассмотрение некоторых аспектов оптимизации сборных ЖБК путем совершенствования расчетного аппарата, в том числе, с использованием вероятностных подходов как прикладных методов теории надежности [2, 4, 12, 13, 15].

#### МЕТОДЫ

В процессе решения обсуждаемых в статье проблем применялись вероятностно-статистические методы, реализованные в специально разработанных компьютерных программах, а также экспериментальные методы, основанные на натурных испытаниях исследуемых конструкций на комбинате «Братскжелезобетон» [2, 4, 11–14].

Вероятностный подход к оценке эксплуатационной пригодности сборных ЖБК на стадии изготовления заключается в определении и сравнении расчетных показателей их надежности с нормативными уровнями [1, 2, 4–7, 11–14]:

$$H \geq [H_i], \quad (1)$$

где  $H$  – показатель надежности, определенный на основе вероятностных методов в соответствии с выбранной расчетной моделью по каждому предельному состоянию;  $[H_i]$  – требуемый нормативный уровень надежности, который принимается для первой группы предельных состояний (по прочности)  $[H_1]=0,9986$ ; для второй группы (по жесткости и трещиностойкости)  $[H_2] = [H_3] = 0,90$  [1, 2, 11–14].

Важным ключевым аспектом при разработке вероятностного алгоритма и реализации его в компьютерной программе по оценке надежности ЖБК является выбор оптимальной расчетной модели конструкции на стадии эксплуатации, которая наиболее достоверно отражает фактическое ее напряженно-деформированное состояние (НДС) [2, 4, 11–17, 25–30].

На основании выполненных исследований для оценки эксплуатационной пригодности ЖБК и, соответственно, для их оптимизации можно рассмотреть две основополагающие конкурентоспособные модели:

– на основе современных норм проектирования ЖБК (СНИП) с реализацией метода предельных состояний [1, 2, 11, 20];

– нелинейно-деформационная модель (НДМ), учитывающая физическую нелинейность конструкционных материалов за счет использования диаграммного подхода

[11, 14, 16, 17, 25–30]. Условие (1) является основой для решения оптимизационных задач исследуемых конструкций в случае, если расчетный показатель надежности  $H$  по какому-либо предельному состоянию существенно превышает нормативный уровень [2, 12, 15, 25–27]. Учитывая математический аппарат прикладной теории надежности и то обстоятельство, что изменчивость физико-механических характеристик материалов, геометрических параметров конструкций и уровня преднапряжения арматуры подчиняются закону нормального распределения, показатель надежности, представленный в общем виде (1), можно записать в виде отдельных дифференцированных показателей надежности применительно к разным группам предельных состояний изгибаемых ЖБК [1, 2, 4, 11–14]:

по 1-ой группе предельных состояний (по прочности)

$$H_1 = 0,5\Phi\left(\frac{M_u - M_o}{S_{M_u}}\right) \geq [H_1], \quad (2)$$

по жесткости конструкций (по 2-ой группе)

$$H_2 = 0,5 + 0,5\Phi\left(\frac{f_o - f}{S_f}\right) \geq [H_2], \quad (3)$$

по трещиностойкости конструкций (по 2-ой группе)

$$H_3 = 0,5 + 0,5\Phi\left(\frac{a_o - a}{S_a}\right) \geq [H_3], \quad (4)$$

где  $\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt$  – функция

Лапласа;  $M_u$  – предельный момент, воспринимаемый сечением элемента на основе принятой расчетной модели;  $f$ ,  $a$  – расчетные значения прогиба и ширины раскрытия трещин, определяемые по выбранной расчетной модели;  $M_o$  – момент внешних сил от расчетной нагрузки;  $f_o$ ,  $a_o$  – контрольные значения прогиба и раскрытия трещин, принимаемые согласно ГОСТ 8829-94;  $S_{M_u}$ ,  $S_f$ ,  $S_a$  – среднеквадратические отклонения соответственно величин  $M_u$ ,  $f$ ,  $a$ , определяемые на основании расчета по выбранной модели с учетом изменчивости технологических параметров.

Расчет ЖБК на основе НДМ дает возможность получить более точную оценку их НДС на всех этапах нагружения, вплоть до стадии разрушения, и выявить для них на этапе проектирования скрытые резервы снижения материалоемкости. Таким образом, можно получить экономический эффект (10...15) %, обусловленный совершенствованием расчетного аппарата исследуемых ЖБК за счет внедрения реальных диаграмм деформирования бетона и

арматуры, полученных на заводах ЖБИ экспериментальным путем [11–17, 25–27].

Следует отметить, что для оценки НДС и надежности сборных ЖБК на кафедре строительных конструкций и технологии строительства (СКиТС) Братского государственного университета были разработаны и зарегистрированы в Роспатенте программные комплексы по оценке эксплуатационной пригодности следующих несущих конструкций заводского изготовления: ребристых и многопустотных плит перекрытий и покрытий, ригелей, балок, ферм, стеновых панелей, колонн и др. [2, 4, 11–15, 25–27], которые прошли апробацию на комбинате «Братскжелезобетон».

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В данной работе анализируются принципы и результаты оптимизации для двух типов сборных ЖБК [6, 11, 12, 25–27]:

- многопустотных панелей перекрытий и покрытий [12–15];
- балок покрытия с частично напрягаемой рабочей арматурой (совмещенным армированием) [14, 25–30].

#### *Анализ результатов оптимизации многопустотных панелей перекрытий*

К рассмотрению предлагаются два основных направления оптимизации многопустотных панелей перекрытий [6, 8, 12, 15]:

- снижение высоты панелей перекрытия для жилых малоэтажных зданий [12, 15];
- оптимизация армирования за счет использования более высокопрочной арматуры для обеспечения надежности исследуемых панелей [6, 8, 12, 15].

Рассмотрим эти варианты оптимизации на примере типовых многопустотных панелей серии 1.141-1, для которых по проекту приняты класс бетона В15, напрягаемая арматура класса А600, способ натяжения арматуры – электротермический.

Величина контролируемого предварительного напряжения арматуры принята 450 МПа [14].

Типовые многопустотные панели перекрытий запроектированы пролетом (4,8...6,3) м, шириной (1,2...2,4) м, высотой сечения 220 мм. Для строительства малоэтажных жилых зданий (коттеджей) на комбинате «Братскжелезобетон» и на кафедре строительных конструкций и технологии строительства Братского государственного университета в целях снижения материалоемкости выпускаемых многопустотных панелей на базе указанной типовой серии были предложены для разработки и дальнейшего применения в этих зданиях облегченные панели меньшей толщины ( $h = 160$  мм) [12, 15].

Пролеты и ширина облегченных панелей приняты по аналогии с типовыми конструкциями, диаметр отверстий был назначен соответственно меньше (108 мм). Количество отверстий и расположение преднапряженной арматуры назначали из условия минимизации затрат на переоснастку форм [12, 15]. Облегченные многопустотные панели перекрытий были запроектированы под полезную расчетную нагрузку  $q = (3...4)$  кН/м<sup>2</sup>.

Расчеты облегченных панелей выполнялись на основе норм проектирования (СНиП) и по НДМ с учетом реальных диаграмм деформирования бетона и арматуры. Для обеспечения их эксплуатационной пригодности также были выполнены вероятностные расчеты с помощью разработанного программного комплекса [12, 15]. В табл. 1 представлены геометрические и расчетные параметры преднапряженных облегченных панелей для расчетной полезной нагрузки  $q = 4$  кН/м<sup>2</sup>. Расчетный прогиб и раскрытие трещин в панелях получается меньше предельно допустимых значений. Уровень начальной надежности по прочности превышает нормативно-обеспеченный показатель надежности 0,9986, а по жесткости и трещиностойкости значительно выше нормативного уровня равного 0,90 [11, 12]. Анализ выполненных оптимизационных исследований показал, что снижение высоты панелей на 60 мм приводит к уменьшению расхода бетона и ее массы на 20 %. При этом несущая способность облегченной панели компенсируется увеличением расхода рабочей арматуры (в среднем на 13,8 %) согласно выполненному расчету и повышением прочностных характеристик бетона и напрягаемой арматуры. Исходя из этого обоснования рекомендуется назначить класс бетона для этих конструкций В20, а напрягаемую арматуру – более высокопрочную класса Ат800 [12, 15]. При определении экономического эффекта важно учесть следующие факторы. Во-первых, повышение класса бетона не будет сопровождаться увеличением расхода цемента, поскольку фактическая прочность бетона многопустотных панелей принимается в любом случае выше проектной из-за необходимости немедленной распалубки конструкций, которые изготавливаются по конвейерной технологии [12]. Во-вторых, с точки зрения экономической целесообразности замена класса арматуры также является логически обоснованной, поскольку арматура класса А600 изготавливается из низколегированной стали, стоимость которой несколько выше ( $\approx$  на 20 %), чем арматуры класса Ат800.

**Таблица 1.** Геометрические и расчетные параметры преднапряженных облегченных панелей перекрытия разных пролетов

**Table 1.** Geometrical and design parameters of prestressed lightweight floor panels of different spans

Расчетная полезная нагрузка $q$ , кН/м <sup>2</sup>	Пролет панели, м	Ширина панели, м	Количество стержней, диаметр и класс напрягаемой арматуры	Величина преднапряжения, МПа	Теоретическая предельная нагрузка, кН/м <sup>2</sup>
4,0	4,8	1,2	4Ø10 Ат800	600	8,3
		1,5	4Ø12А600	450	8,2
		2,4	8Ø10 Ат800	600	8,5
	5,6	1,2	(2Ø10+2Ø12) Ат800	600	8,4
		1,5	4Ø12 Ат800	600	7,9
		2,4	(6Ø10+2Ø12) Ат800	600	7,7
	6,0	1,2	4Ø12 Ат800	650	8,4
		1,5	(4Ø10+2Ø12) Ат800	650	8,2
		2,4	(2Ø10+6Ø12) Ат800	650	7,9
	6,3	1,2	(2Ø12+2Ø14) Ат800	650	8,8
		1,5	(2Ø10+4Ø12) Ат800	650	8,2
		2,4	(6Ø12+2Ø14) Ат800	650	8,2

Таким образом, по обобщенным показателям стоимость одной облегченной многопустотной панели для малоэтажных зданий получается в среднем на 15,2 % меньше стоимости типовых конструкций [12,15]. На кафедре строительных конструкций и технологии строительства Братского государственного университета были разработаны все рабочие чертежи облегченных многопустотных панелей перекрытий и выпущен альбом экспериментальной серии, который принят к внедрению для производственного применения на комбинате «Братскжелезобетон» [12]. Рассмотрим второй аспект оптимизации типовых многопустотных преднапряженных панелей перекрытий серии 1.141-1, обусловленный необходимостью замены напрягаемой арматуры одного класса арматуры другим, более высокопрочным с целью повышения недостаточной начальной надежности некоторых исследованных конструкций, обнаруженной в результате заводского контроля качества [15]. Следует отметить, что заводской контроль качества сборных ЖБК осуществляется на основании ГОСТ 8829–94, т. е. путем натурных испытаний, которые носят выборочный характер. В соответствии с рекомендациями, изложенными в работах [2, 4, 11, 15, 25–27] целесообразно использовать автоматизированный контроль качества выпускаемой продукции с помощью программ по оценке начальной надежности исследуемых конструкций, реализующих вероятностные методы. Опыт натурных испытаний многопустотных панелей этой серии (более 50 шт.) на ком-

бинате «Братскжелезобетон» показал, что некоторые из них ( $\approx 20\%$ ) не соответствуют требованиям прочности и жесткости [12]. Для установления причин отрицательных результатов, полученных при натурных испытаниях панелей, были выполнены вероятностные расчеты оценки эксплуатационной пригодности исследуемых конструкций с помощью разработанного программного комплекса [2, 4, 11–13]. Полученные показатели начальной надежности многопустотных типовых панелей при проектном армировании, которые не выдержали контрольные испытания, представлены в табл. 2 [12]. Они также свидетельствуют о недостаточной надежности рассмотренных панелей по прочности ( $H_1 < 0,9986$ ) и некоторых по жесткости ( $H_2 < 0,90$ ). Показатель надежности по трещиностойкости  $H_3$  получается значительно выше нормативного уровня и в табл. 2 не представлен [12]. В качестве одного из вариантов выхода из сложившейся ситуации было принято решение в соответствии с производственной необходимостью заменить преднапряженную арматуру класса А600 на более высокопрочную класса Ат800, тем самым повысить уровень ее преднапряжения до 600–650 МПа и обеспечить надежность конструкций по первой и второй группам предельных состояний. Замена осуществлялась на основании вероятностных расчетов в соответствии с контрольными нормативами (контрольные значения нагрузки, прогиба и ширины раскрытия трещин). Класс бетона был принят В20 (по проекту В15) [12, 15].

**Таблица 2.** Параметры типовых многопустотных панелей, не выдержавших контрольные испытания, при проектном и измененном армировании

**Table 2.** Parameters of typical hollow-core panels that failed control tests, with design and modified reinforcement

Марка исследуемых панелей	Теоретическая предельная нагрузка, кН/м <sup>2</sup>			Показатели начальной надежности			
	по проекту	при оптимизации армирования	увеличение, %	при проектном армировании		при оптимизации армирования	
				по прочности Н <sub>1</sub>	по жесткости Н <sub>2</sub>	по прочности Н <sub>1</sub>	по жесткости Н <sub>2</sub>
ПК48-15-8А-IVт	13,35	15,34	19,2	0,9630	0,9100	0,9996	0,9999
ПК60-15-8А-IVт	13,19	15,11	18,8	0,9533	0,6910	0,9994	0,9790
ПК63-15-8А-IVт	13,53	15,22	16,0	0,9838	0,6170	0,9996	0,9160
ПК48-12-8А-IVт	13,65	16,44	26,2	0,9620	0,9790	0,9999	0,9975
ПК60-15-6А-IVт	11,11	13,53	29,8	0,9790	0,5310	0,9999	0,9570
ПК63-12-8А-IVт	14,58	15,88	11,2	0,9973	0,9300	0,9999	0,9660

На основании анализа показателей видно, что теоретическая разрушающая нагрузка для исследуемых панелей при измененном армировании в среднем увеличилась на 15,5 %, что дает значительное увеличение показателя начальной надежности по прочности ( $H_1 > 0,9986$ ) [12]. Также показатель начальной надежности по жесткости для всех рассмотренных плит стал выше нормативного уровня ( $H_2 > 0,90$ ) [12]. Результаты изменения армирования при оптимизации многопустотных панелей представлены в табл. 3 [12]. За счет повышения класса расход преднапряженной арматуры в многопустотных типовых панелях перекрытия в среднем снижается на 18,5 % (табл. 3).

Таким образом, проблема оптимизации многопустотных панелей является актуальной как с точки зрения экономии ресурсов, так и для повышения в целом надежности этих конструкций [12].

*Оптимизация армирования предварительно напряженных балок перекрытия с совмещенным армированием*

Анализ результатов оптимизации балок с совмещенным армированием выполнялся на трех видах типовых балок серии 1.462.1-1/88. Балки пролетом 12 м имеют двутавровое сечение высотой 890 мм.

Основная задача оптимизации исследуемых балок заключалась в выборе оптимального баланса напрягаемой и ненапрягаемой

арматуры, расположенной в нижнем поясе. При этом для всех типовых выбранных балок трех марок были рассмотрены разные варианты их армирования (модели I, II, III) в зависимости от коэффициента частичного преднапряжения арматуры  $K_p$ , учитывающего долю напрягаемой арматуры в составе всей рабочей арматуры балки. Основная зависимость для определения коэффициента  $K_p$  при совмещенной арматуре одного класса имеет вид [25–28]:

$$K_p = \frac{A_{sp}}{\sum A_s} \quad (5)$$

Каждый тип трех основных исследуемых балок совместно с моделями их армирования (моделируемые балки) включен в экспериментальные серии I-III, которые представлены в табл. 4 [25–27]. Геометрические параметры и схемы армирования моделируемых балок, величины нагрузок принимаются такими же, как для основных балок. При этом необходимо учитывать, что количество напрягаемой и ненапрягаемой арматуры моделируемых балок должно приниматься из расчета обеспечения их прочности по нормальному сечению равной прочности основных балок из данной экспериментальной серии [25–27].

В табл. 5 приведены схемы армирования основных и моделируемых балок в зависимости от коэффициента  $K_p$  для соответствующих экспериментальных серий I-III.

**Таблица 3.** Показатели армирования многоспустотных панелей перекрытий по проекту и после их оптимизации

**Table 3.** Reinforcement indicators of multi-cavity floor panels according to the project and after their optimization

Марка исследуемых панелей	Количество, диаметр и класс напрягаемой арматуры		Снижение расхода напрягаемой арматуры, %
	по проекту	при оптимизации	
ПК48-15-8А-IVт	4Ø12 А600	(2Ø10+2Ø12) Ат800	15,3
ПК60-15-8А-IVт	(4Ø14+1Ø12) А600	(4Ø12+1Ø14) Ат800	16,9
ПК63-15-8А-IVт	(4Ø14+2Ø12) А600	6Ø12 Ат800	19,4
ПК48-12-8А-IVт	(1Ø12+3Ø10) А600	4Ø10 Ат800	10,0
ПК60-15-6А-IVт	(1Ø14+4Ø12) А600	(4Ø10+2Ø12) Ат800	10,9
ПК63-12-8А-IVт	6Ø12 А600	(4Ø10+2Ø12) Ат800	20,5

**Таблица 4.** Параметры рабочей арматуры основных (типовых) и моделируемых балок

**Table 4.** Parameters of the working fittings of the main (standard) and simulated beams

Экспериментальные серии исследуемых балок	Марка основной балки и моделей ее армирования	Коэффициент частичного преднапряжения арматуры $K_p$	Количество, диаметр и класс арматурных стержней		Класс бетона
			напрягаемая арматура	ненапрягаемая арматура	
Серия I	2БСП12-5АтVIk-н	0,75	6Ø18 Ат1000	2Ø18 Ат1000	В40
	Модель I	1,00	8Ø18 Ат1000	–	
	Модель II	0,50	4Ø18 Ат1000	4Ø18 Ат1000	
	Модель III	0,00	–	8Ø18 Ат1000	
Серия II	2БСП12-6АтVIk-н	0,78	7Ø18 Ат1000	2Ø18 Ат1000	В40
	Модель I	1,00	9Ø18 Ат1000	–	
	Модель II	0,55	5Ø18 Ат1000	4Ø18 Ат1000	
	Модель III	0,22	2Ø18 Ат1000	7Ø18 Ат1000	
Серия III	2БСП12-4АIIIв	0,83	5Ø22 А500	1Ø22 А500	В35
	Модель I	1,00	6Ø22 А500	–	
	Модель II	0,50	3Ø22 А500	3Ø22 А500	
	Модель III	0,33	2Ø22 А500	4Ø22 А500	

Как показывают выполненные исследования по оценке НДС ЖБК с совмещенным армированием для предварительных расчетов целесообразно использовать методы расчета на основе СНиП [1, 2, 11, 14].

Для более глубокого анализа таких ЖБК, как плиты и балки со сложным напряженным состоянием, в частности с совмещенным армированием, рекомендуется применять альтернативную модель (НДМ), базирующуюся на реальных диаграммах состояния конструктивных материалов [14, 16, 17, 25–30].

Следует отметить, что расчет по НДМ позволяет более точно оценить фактическое НДС изгибаемых железобетонных балок с частично напрягаемой арматурой, чем расчет по нормативной модели [2, 4, 11–28].

Об этом свидетельствуют сопоставления результатов натуральных испытаний типовых балок согласно ГОСТ 8829-94 и вероятностных расчетов по выбранным расчетным моделям [2, 4, 11–15, 25–27].

Оптимизация армирования конструкций выполнялась на основе компьютерного моделирования по разработанным программам на вероятностной основе как прикладных методов теории надежности [11, 14, 25–27].

Актуальными задачами, которые целесообразно решить для дальнейших исследований при оптимизации балок с совмещенным армированием являются [14, 25–28]:

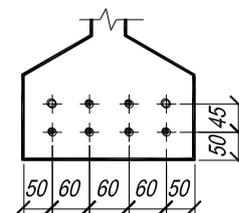
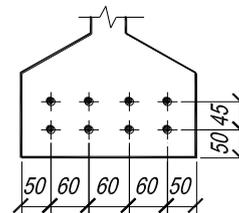
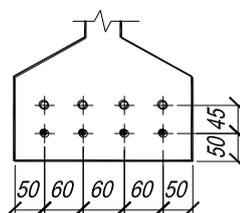
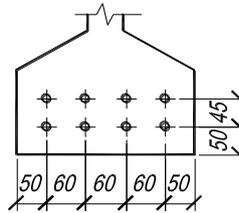
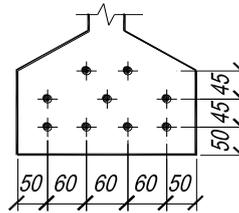
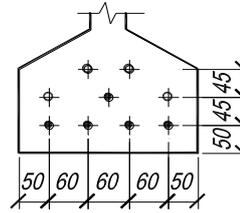
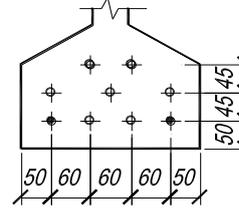
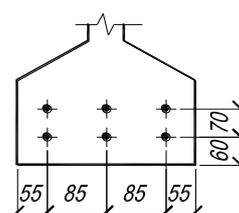
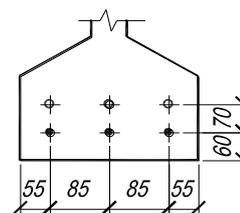
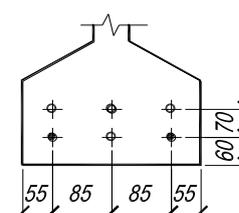
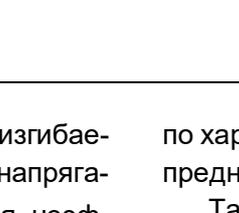
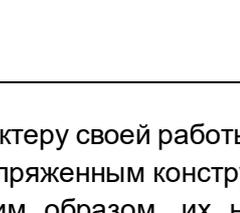
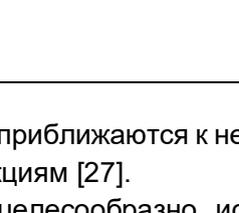
– моделирование влияния коэффициента  $K_p$  на НДС исследуемых балок (жесткость, трещиностойкость);

- определение величины предварительного напряжения арматуры  $\sigma_{sp}$  в зависимости от показателей надежности  $H_2, H_3$ ;
- установление оптимальных классов совмещенного армирования.

Анализ результатов численного моделирования с помощью разработанного программного комплекса (табл. 6) по оценке надежности исследуемых конструкций дает возможность оценить влияние коэффициента  $K_p$  на показатели второй группы предельных состояний [25–28].

В табл. 6 представлены результаты анализа контрольных и расчетных значений прогиба и раскрытия нормальных трещин исследуемых балок в зависимости от коэффициента  $K_p$ . Оценка эксплуатационной пригодности изгибаемых ЖБК с частично напрягаемой рабочей арматурой под заданную проектную нагрузку должна выполняться из условия обеспечения надежности по второй группе предельных состояний при соответствующем значении коэффициента  $K_p$  [27].

**Таблица 5.** Схемы армирования типовых и моделируемых балок экспериментальных серий I-III  
**Table 5.** Reinforcement schemes for typical and simulated beams of experimental series I-III

Экспериментальные серии исследуемых балок	Марка типовой балки	Моделируемые балки		
		Модель I	Модель II	Модель III
Серия I	2БСП12-5АтVIк-н 			
				
				
				
Условные обозначения:  - напрягаемая арматура;  - ненапрягаемая арматура				

При этом следует отметить, что изгибаемые ЖБК с большим содержанием ненапрягаемой арматуры ( $K_p \leq 0,5$ ) становятся неэффективными с точки зрения пониженной деформативности и трещиностойкости, которые

по характеру своей работы приближаются к ненапряженным конструкциям [27].

Таким образом, их нецелесообразно использовать в конструкциях со смешанным армированием. Об их низкой неэффективности свидетельствуют результаты оценки показате-

лей начальной надежности  $H_2, H_3$  (табл. 7), полученные на основании вероятностных алгоритмов с использованием разных расчетных моделей (СНИП и НДМ) [27].

Анализ результатов численного моделирования влияния  $K_p$  на показатели жесткости, трещиностойкости и надежности по второй группе предельных состояний (табл. 6, 7) показал, что наиболее эффективными конструкциями с совмещенным армированием являются балки со средним оптимальным содержанием  $K_p \approx 0,67$  [27].

Для выбранных типовых балок (серия 1.462.1-1/88) этот коэффициент  $K_p$  находится в диапазоне от 0,75 до 0,83. Показатель начальной надежности по прочности получается вы-

соким при использовании вероятностных методов по каждой расчетной модели  $H_1 > 0,9986$  (табл. 7). Вероятностный расчет на основе НДМ из-за полного учета пластических свойств конструкционных материалов дает возможность выявить скрытые резервы снижения материалоемкости исследуемых конструкции и перейти к вероятностно-оптимизационному их анализу [14, 25–28]. Также на основании результатов численного моделирования для исследуемых балок можно подобрать величину оптимального значения контролируемого преднапряжения арматуры  $\sigma_{sp}$  исходя из требований жесткости, трещиностойкости и обеспечения их надежности по второй группе предельных состояний [14, 25–28].

**Таблица 6.** Контрольные и расчетные значения прогибов и раскрытия нормальных трещин исследуемых балок экспериментальных серий I-III

**Table 6.** Control and calculated values of deflections and opening of normal cracks of the studied beams of experimental series I-III

Экспериментальные серии исследуемых балок	Марка основных и моделируемых балок	$K_p$	Прогиб		Ширина раскрытия трещин	
			$f_{кон},$ мм	$f,$ мм	$a_{кон},$ мм	$a,$ мм
Серия I	2БСП12-5АтVIк-н	0,75	38	23,20	0,2	0,038
	Модель I	1,00		20,22		0
	Модель II	0,50		36,54		0,284
	Модель III	0,00		65,20		0,888
Серия II	2БСП12-6АтVIк-н	0,78	40	27,20	0,2	0,080
	Модель I	1,00		23,20		0
	Модель II	0,55		42,39		0,323
	Модель III	0,22		83,10		0,661
Серия III	2БСП12-4AIIIв	0,83	36	34,70	0,2	0,065
	Модель I	1,00		30,67		0
	Модель II	0,50		53,60		0,320
	Модель III	0,33		79,90		0,817

Использование реальных диаграмм состояния бетона и арматуры при расчете по НДМ дает возможность подобрать оптимальный класс ненапрягаемой арматуры в зависимости от напрягаемой [14, 25–28].

С точки зрения экономичности целесообразно в качестве ненапрягаемой арматуры использовать арматуру класса А400, которая к моменту разрушения достигает предела текучести [14, 25–27].

При использовании высокопрочной арматуры в качестве ненапрягаемой напряжение в ней к моменту разрушения конструкции составляет 60–70 % от предела прочности [14, 25–27], т. е. ее прочностные возможности до конца не реализуются. Актуальное практическое зна-

чение по повышению эксплуатационной пригодности, безопасности и долговечности ЖБК заводского изготовления имеет установление функциональной зависимости их надежности от различных производственных факторов, с помощью которой можно управлять технологическими процессами по изготовлению конструкций и обеспечивать выпуск продукции с заданным уровнем надежности [1–5, 12–15, 25–28]. При этом важную роль для обеспечения надежности, безопасности и долговечности строительных конструкций играют вопросы, связанные с их оптимизацией на стадии проектирования и изготовления для снижения материалоемкости и повышения экономической эффективности [1, 2, 4, 7, 8, 25].

**Таблица 7.** Влияние коэффициента  $K_p$  на показатели начальной надежности исследуемых балок экспериментальной серии I, полученные по разным вероятностным моделям  
**Table 7.** The influence of the coefficient  $K_p$  on the initial reliability indicators of the studied beams of the experimental series I, obtained using different probabilistic models

Марка типовой балки и моделей ее армирования для экспериментальной серии I	Показатели начальной надежности					
	Вероятностный расчет на основе СНИП			Вероятностный расчет на основе НДМ		
	по прочности $H_1$	по жесткости $H_2$	по трещиностойкости $H_3$	по прочности $H_1$	по жесткости $H_2$	по трещиностойкости $H_3$
2БСП12-5АтVIк-н ( $K_p=0,75$ ) (типовая)	0,9999	0,9989	0,9988	0,9999	0,9987	0,9986
Модель I ( $K_p=1,00$ )	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999
Модель II ( $K_p=0,50$ )	0,9999	0,8908	0,9051	0,9999	0,9166	0,8965
Модель III ( $K_p=0,00$ ) (непреднапряженная)	0,9999	0,7223	0,8263	0,9999	0,7088	0,7125

*Примечание:* нормативные уровни начальной надежности для основных несущих конструкций: по прочности  $[H_1] = 0,9986$ , по жесткости и трещиностойкости  $[H_2] = [H_3] = 0,90$ .

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании анализа выполненных исследований с использованием прикладных методов теории надежности рассмотренных многопустотных панелей перекрытий и предварительно напряженных балок с совмещенным армированием были сделаны следующие выводы:

1. Установлено, что для решения задач по оптимизации сборных ЖБК на вероятностной основе необходимым является условие существенного превышения их расчетного показателя надежности над нормативным уровнем.

2. Разработана для применения на комбинате «Братскжелезобетон» экспериментальная серия облегченных многопустотных панелей перекрытий уменьшенной толщины ( $h = 160$  мм) для малоэтажного строительства на основании типовой серии 1.141-1. Расчеты для обеспечения точности и достоверности полученных результатов проводились по разным расчетным моделям и на вероятностной основе. Стоимость одной облегченной панели снизилась в среднем на 15,2 % по сравнению со стоимостью типовых конструкций.

3. Рекомендована, в качестве другого направления оптимизации типовых многопустотных панелей перекрытий серии 1.141-1 в виду недостаточной начальной надежности некоторых из них, замена напрягаемой арматуры одного класса А600 на более высокопрочную Ат800 с повышением уровня ее натяжения.

В результате показатели надежности по прочности и жесткости  $H_1$  и  $H_2$  существенно

увеличились и превысили нормативные уровни. За счет изменения класса напрягаемой арматуры ее расход в панелях в среднем снизился на 18,5 %, что позволяет достичь как экономии ресурсов, так и повышения надежности конструкций.

4. Установлен диапазон оптимальных значений коэффициента частичного преднапряжения  $K_p$  для железобетонных балок с совмещенным армированием из условия обеспечения их надежности по второй группе предельных состояний:  $K_p = 0,65...0,75$ . Конструкции с более низким содержанием напрягаемой арматуры ( $K_p < 0,5$ ) являются малоэффективными по своей повышенной деформативности и по характеру работы приближаются к непреднапряженным конструкциям.

5. Доказано, что для более точного определения оптимальных конструктивных параметров совмещенного армирования железобетонных балок (коэффициента  $K_p$ , уровня преднапряжения  $\sigma_{sp}$ , рационального выбора класса и схемы совмещенного армирования) рекомендуется выполнить вероятностную оценку их предельных состояний с учетом физической нелинейности конструкционных материалов. На основании результатов моделирования по разработанному программному комплексу, используя показатели начальной надежности, можно с достаточной степенью достоверности выявить скрытые резервы снижения материалоемкости ЖБК заводского изготовления и перейти к вероятностно-оптимизационному их анализу.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Райзер В.Д. Теория надежности сооружений: научное издание. М.: Изд-во АСВ, 2010. 383 с.
2. Тамразян А.Г., Дудина И.В. Обеспечение качества сборных железобетонных конструкций на стадии изготовления // Жилищное строительство. 2001. № 3. С. 8–10. EDN: UIZQDH.
3. Spaethe G. Die Sicherheitstragender Baukonstruktionen. Wien: Springer Vienna. 1992. 303 p.
4. Kaverzina L., Kovalenko G., Dudina I., Belskii O. Cost Efficiency Assessment of Automated Quality Control of Precast Structures // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 143. P. 1–7. <https://doi.org/10.1051/matec-conf/201814304006>.
5. Тамразян А.Г. Методология анализа и оценки надежности состояния и прогнозирование срока службы железобетонных конструкций // Железобетонные конструкции. 2023. Т. 1. № 1. С. 5–18. EDN: MGOLLW.
6. Tamrazyan A., Alekseytsev A. Evolutionary Optimization of Reinforced Concrete Beams, Taking Into Account Design Reliability, Safety and Risks During The Emergency Loss Of Supports // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 97. P. 1–8. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199704005>.
7. Тамразян А.Г., Алексейцев А.В. Современные методы оптимизации конструктивных решений для несущих систем зданий и сооружений // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. № 1. С. 12–30. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2020.1.12-30>. EDN: WVLC DG.
8. Квасников А.А., Сумароков Е.В. Оптимизация армирования железобетонных конструкций зданий и сооружений при автоматизации процессов проектирования // Вестник НИЦ «Строительство». 2023. № 2. С. 136–150. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-2\(37\)-136-150](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-2(37)-136-150). EDN: YDILFM.
9. Seify Asghshahr M. Reliability Based Design Optimization of Reinforced Concrete Frames Using Genetic Algorithm // Periodica Polytechnica Civil Engineering. 2021. Vol. 65. Iss. 2. P. 566–576. <https://doi.org/10.3311/PPci.17150>.
10. Rubaratuka I.A. Challenges of the Quality of Reinforced Concrete Buildings in Dar es Salaam // International Journal of Engineering Research & Technology. 2013. Vol. 2. Iss. 12. P. 820–827. <https://doi.org/10.17577/IJERTV2IS120282>.
11. Коваленко Г.В., Дудина И.В., Жердева С.А. Практические методы оценки надежности сборных железобетонных конструкций на стадии изготовления. Монография. Братск: Изд-во Братского государственного университета, 2013. 123 с. EDN: UYKMQR.
12. Дудина И.В., Назарова Н.О. Повышение экономической эффективности конструкций заводского изготовления при оптимизации // Проблемы экономики и управления строительством в условиях экологически ориентированного развития. Материалы пятой Междунар. науч.-практ. онлайн-конф. (г. Томск, 12–13 апреля 2018 г.). Томск, 2018. С. 154–159. EDN: YQYN SH.
13. Коваленко Г.В., Дудина И.В., Нестер Е.В. Вероятностный подход к контролю качества и оценке начальной надежности сборных железобетонных конструкций // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2021. Т. 11. № 2. С. 274–283. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-2-274-283>. EDN: WPEWVM.
14. Kovalenko G.V., Dudina I.V., Nester E.V. Chance Models and Estimators of Primary Reliability of Constructions with Mixed Reinforcement // European Science and Technology: Materials of the International Research and Practice Conference (Wiesbaden, 31<sup>st</sup> January, 2012). Wiesbaden, 2012. P. 237–243.
15. Коваленко Г.В., Дудина И.В., Назарова Н.О. Оптимизация железобетонных конструкций заводского изготовления на вероятностной основе как фактор снижения их материалоемкости // Труды Братского государственного университета. Серия: естественные и инженерные науки. 2018. Т. 1. С. 156–160. EDN: YURQNV.
16. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. М.: Стройиздат. 1996. 416 с.
17. Бондаренко В.М., Бондаренко С.В. Инженерные методы нелинейной теории железобетона. М.: Стройиздат. 1982. 287 с.
18. Jian-Ping Lin, Guannan Wang, Rongqiao Xu Particle Swarm Optimization–Based Finite-Element Analyses and Designs of Shear Connector Distributions for Partial-Interaction Composite Beams // Journal of Bridge Engineering. 2019. Vol. 24. Iss. 4. P. 1–20. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)BE.1943-5592.0001371](https://doi.org/10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0001371).
19. El Abdelouafi G., Benaissa K., Abdellatif K. Reliability Analysis of Reinforced Concrete Buildings: Comparison between FORM and ISM // Procedia Engineering. 2015. Vol. 114. P. 650–657. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.006>.
20. Youbao Jiang, Suixiang Peng, Beer M., Lei Wang, Jianren Zhang Reliability Evaluation of Reinforced Concrete Columns Designed By Eurocode for Wind-Dominated Combination Considering Random Loads Eccentricity // Advances in Structural Engineering. 2019. Vol. 23. Iss. 1. P. 146–159. <https://doi.org/10.1177/1369433219866089>.
21. Szep J., Habashneh M., Logo J., Rad M.M. Reliability Assessment of Reinforced Concrete Beams under Elevated Temperatures: A Probabilistic Approach Using Finite Element and Physical Models // Sustainability. 2023. Vol. 15. Iss. 7. P. 1–20. <https://doi.org/10.3390/su15076077>.

22. Qiang Zhang, Yan-Gang Zhao, Kristijan Kolozvari, Lei Xu Reliability Analysis of Reinforced Concrete Structure Against Progressive Collapse // *Reliability Engineering & System Safety*. 2022. Vol. 228. P. 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2022.108831>.
23. Voss J. *An Introduction to Statistical Computing: A Simulation-Based Approach*. Chichester: Wiley, 2013. 396 p.
24. Ditlevsen O. Stochastic Model of Self-Weight Load // *Journal of Structural Engineering*. 1988. Vol. 114. Iss. 1. P. 1–10. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1988\)114:1\(222\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1988)114:1(222)).
25. Коваленко Г.В., Меньщикова Н.С. Анализ результатов компьютерного моделирования напряженно-деформированного состояния железобетонных балок со смешанным армированием и оценка их надежности на основе нелинейно-деформационной модели // *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование*. 2009. № 4. С. 93–96. EDN: KWWDBV.
26. Тамразян А.Г., Дудина И.В. Учет нелинейных свойств материалов при расчете конструкций со смешанным армированием // *Бетон и железобетон*. 2003. № 2. С. 11–12.
27. Дудина И.В., Рамазанова Г.А., Нестер Е.В. Влияние некоторых конструктивных параметров совместного армирования железобетонных балок при оценке их предельных состояний // *Системы. Методы. Технологии*. 2018. № 2. С. 139–145. <https://doi.org/10.18324/2077-5415-2018-2-139-145>. EDN: XYMYZN.
28. Байрамуков С.Х., Долаева З.Н. Оценка прочности и деформативности частично предварительно напряженных элементов по деформационной модели // *Инженерный вестник Дона*. 2018. № 2. С. 1–12. EDN: YATGLR.
29. Залесов А.С., Чистяков Е.А., Ларичева И.Ю. Деформационная расчетная модель железобетонных элементов при действии изгибающих моментов и продольных сил // *Бетон и железобетон*. 1996. № 5. С. 16–18.
30. Плевков В.С., Балдин И.В., Балдин С.В., Ласковенко А.Г., Ласковенко Г.А. Прочность и трещиностойкость железобетонных элементов при совместном действии изгибающих моментов, продольных и поперечных сил // *Современные проблемы расчета железобетонных конструкций, зданий и сооружений на аварийные воздействия. Международная научная конференция, посвященная 85-летию кафедры железобетонных и каменных конструкций и 100-летию со дня рождения Н.Н. Попова (г. Москва, 19–20 апреля 2016 г.)*. М., 2016. С. 323–328. EDN: TSXRHW.

## REFERENCES

1. Raizer V.D. *Theory of Reliability of Structures: Scientific Publication*. Moscow: ASV Publishing House, 2010. 383 p. (In Russ.).
2. Tamrazyan A.G., Dudina I.V. Ensuring the Quality of Precast Concrete Structures at the Manufacturing Stage. *Housing Construction*. 2001. № 3. С. 8–10. (In Russ.). EDN: UIZQDH.
3. Spaethe G. *Die Sicherheitstragender Baukonstruktionen*. Wien: Springer Vienna. 1992. 303 p.
4. Kaverzina L., Kovalenko G., Dudina I., Belskii O. Cost Efficiency Assessment of Automated Quality Control of Precast Structures. *MATEC Web of Conferences*. 2018;143:1-7. <https://doi.org/10.1051/matec-conf/201814304006>.
5. Tamrazian A.G. Methodology for the Analysis and Assessment of the Reliability of the State and Prediction the Service Life of Reinforced Concrete Structures. *Reinforced Concrete Structures*. 2023;1(1):5-18. (In Russ.). EDN: MGOLLW.
6. Tamrazyan A., Alekseytsev A. Evolutionary Optimization of Reinforced Concrete Beams, Taking Into Account Design Reliability, Safety and Risks During The Emergency Loss Of Supports. *E3S Web of Conferences*. 2019;97:1-8. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199704005>.
7. Tamrazyan A.G., Alekseytsev A.V. Review of Modern Optimization Methods for Bearing Systems of Buildings and Structures. *Monthly Journal on Construction and Architecture*. 2020;15(1):12-30. (In Russ.). <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2020.1.12-30>. EDN: WVLC DG.
8. Kvasnikov A.A., Sumarokov E.V. Optimizing the Reinforcement of Buildings and Structures in Automatic Design Processes. *Bulletin of the Scientific Research Center of Construction*. 2023;2:136-150. (In Russ.). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-2\(37\)-136-150](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-2(37)-136-150). EDN: YDILFM.
9. Seify Ashghshahr M. Reliability Based Design Optimization of Reinforced Concrete Frames Using Genetic Algorithm. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*. 2021;65(2):566-576. <https://doi.org/10.3311/PPci.17150>.
10. Rubaratuka I.A. Challenges of the Quality of Reinforced Concrete Buildings in Dar es Salaam. *International Journal of Engineering Research & Technology*. 2013;2(12):820-827. <https://doi.org/10.17577/IJERTV2IS120282>.
11. Kovalenko G.V., Dudina I.V., Zherdeva S.A. *Practical Methods for Assessing the Reliability of Precast Concrete Structures at the Manufacturing Stage. Monograph*. Bratsk: Bratsk State University Press, 2013. 123 p. (In Russ.). EDN: UYKMQR.

12. Dudina I.V., Nazarova N.O. Increase in Economic Efficiency of Designs of Factory Production by Their Optimization. In: Problemy ekonomiki i upravleniya stroitel'stvom v usloviyakh ekologicheskoi orientirovannogo razvitiya. Materialy pyatoi Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi onlain-konferentsii = *Problems of Construction Economics and Management in the Context of Environmentally-Oriented Development. Proceedings of the Fifth International Scientific and Practical Online Conference*. 12–13 April 2018, Tomsk. Tomsk; 2018. P. 154–159. (In Russ.). EDN: YQYNSh.
13. Kovalenko G.V., Dudina I.V., Nester E.V. A Probabilistic Approach to Quality Control and Assessing Initial Reliability Precast Reinforced Constructions. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2021;11(2):274-283. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-2-274-283>. EDN: WPEWVM.
14. Kovalenko G.V., Dudina I.V., Nester E.V. Chance Models and Estimators of Primary Reliability of Constructions with Mixed Reinforcement. In: *European Science and Technology: Materials of the International Research and Practice Conference*. 31<sup>st</sup> January 2012, Wiesbaden. Wiesbaden; 2012. P. 237–243.
15. Kovalenko G.V., Dudina I.V., Nazarova N.O. Optimization of Prefabricated Reinforced Concrete Structures on a Probabilistic Basis as a Factor in Reducing Their Material Consumption. *Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: estestvennye i inzhenernye nauki*. 2018;1:156-160. (In Russ.). EDN: YURQNV.
16. Karpenko N.I. *General Models of Reinforced Concrete Mechanics*. Moscow: Stroyizdat. 1996. 416 p. (In Russ.).
17. Bondarenko V.M., Bondarenko S.V. *Engineering Methods of Nonlinear Theory of Reinforced Concrete*. Moscow: Stroyizdat. 1982. 287 p. (In Russ.).
18. Jian-Ping Lin, Guannan Wang, Rongqiao Xu Particle Swarm Optimization–Based Finite-Element Analyses and Designs of Shear Connector Distributions for Partial-Interaction Composite Beams. *Journal of Bridge Engineering*. 2019;24(4):1-20. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)BE.1943-5592.0001371](https://doi.org/10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0001371).
19. El Abdelouafi G., Benaissa K., Abdellatif K. Reliability Analysis of Reinforced Concrete Buildings: Comparison between FORM and ISM. *Procedia Engineering*. 2015;114:650-657. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.006>.
20. Youbao Jiang, Suixiang Peng, Beer M., Lei Wang, Jianren Zhang Reliability Evaluation of Reinforced Concrete Columns Designed By Eurocode for Wind-Dominated Combination Considering Random Loads Eccentricity. *Advances in Structural Engineering*. 2019;23(1):146-159. <https://doi.org/10.1177/1369433219866089>.
21. Szep J., Habashneh M., Logo J., Rad M.M. Reliability Assessment of Reinforced Concrete Beams under Elevated Temperatures: A Probabilistic Approach Using Finite Element and Physical Models. *Sustainability*. 2023;15(7):1-20. <https://doi.org/10.3390/su15076077>.
22. Qiang Zhang, Yan-Gang Zhao, Kristijan Kolozvari, Lei Xu Reliability Analysis of Reinforced Concrete Structure Against Progressive Collapse. *Reliability Engineering & System Safety*. 2022;228:1-13. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2022.108831>.
23. Voss J. *An Introduction to Statistical Computing: A Simulation-Based Approach*. Chichester: Wiley, 2013. 396 p.
24. Ditlevsen O. Stochastic Model of Self-Weight Load. *Journal of Structural Engineering*. 1988;114(1):1-10. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1988\)114:1\(222\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1988)114:1(222)).
25. Kovalenko G.V., Menshchikova N.S. Analysis of The Results of Computer Modeling of The Stress-Strain State of Reinforced Concrete Beams with Mixed Reinforcement and Assessment of Their Reliability Based on A Nonlinear Deformation Model. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie*. 2009;4:93-96. (In Russ.). EDN: KWWDBV.
26. Tamrazyan A.G., Dudina I.V. Taking into Account Nonlinear Properties of Materials When Calculating Structures with Mixed Reinforcement. *Concrete and Reinforced Concrete*. 2003;2:11-12. (In Russ.).
27. Dudina I.V., Ramazanov G.A., Nester E.V. Influence of Some Design Parameters of the Combined Reinforcement of Concrete Beams in Assessing Their Limit States. *Systems. Methods. Technologies*. 2018;2:139-145. (In Russ.). <https://doi.org/10.18324/2077-5415-2018-2-139-145>. EDN: XYMYZN.
28. Bayramukov S.H., Dolaeva Z.N. Evaluation of the Strength and Deformation of Partially Prestressed Elements by the Deformation Model. *Engineering Journal of Don*. 2018;2:1-12. (In Russ.). EDN: YATGLR.
29. Zalesov A.S., Chistyakov E.A., Laricheva I.Yu. Deformation Calculation Model of Reinforced Concrete Elements under the Action of Bending Moments and Longitudinal Forces. *Concrete and Reinforced Concrete*. 1996;5:16-18. (In Russ.).
30. Plevkov V.S., Baldin I.V., Baldin S.V., Laskovenko A.G., Laskovenko G.A. Strength and Crack Resistance of Reinforced Concrete Elements under the Combined Action of Bending Moments, Longitudinal and Transverse Forces. In: *Sovremennye problemy rascheta zhelezobetonnykh konstruksii, zdaniy i sooruzheniy na avariynye vozdeystviya. Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya, posvyashchennaya 85-letiyu kafedry zhelezobetonnykh i kamennykh konstruksii i 100-letiyu so dnya rozhdeniya N.N. Popova = Current Problems of Calculating Reinforced Concrete Structures, Buildings, and Facilities for Accident Impacts*.

### Информация об авторах

#### Дудина Ирина Васильевна,

к.т.н., доцент,  
заведующий кафедрой строительных  
конструкций и технологии строительства,  
Братский государственный университет,  
665709, г. Братск, ул. Макаренко, 40, Россия,  
✉e-mail: dydina\_irina@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-6047-4839>  
Author ID: 315594

**Камчаткина Варвара Михайловна,**  
к.пед.н., доцент кафедры строительных  
конструкций и технологии строительства,  
Братский государственный университет,  
665709, г. Братск, ул. Макаренко, 40,  
Россия,  
e-mail: varvara@kamchatkina.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-2687-3603>  
Author ID: 651157

### 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 05.09.2025.  
Одобрена после рецензирования 12.10.2025.  
Принята к публикации 21.10.2025.

### Information about the authors

#### Irina V. Dudina,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,  
Head of the Department of Building Structures  
and Construction Technology,  
Bratsk State University,  
40 Makarenko St., Bratsk 665709, Russia,  
✉e-mail: dydina\_irina@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-6047-4839>  
Author ID: 315594

**Varvara M. Kamchatkina,**  
Cand. Sci. (Ped.), Associate Professor  
of Departments of Building structures  
and construction technologies,  
Bratsk State University,  
40 Makarenko St., Bratsk 665709, Russia,  
e-mail: varvara@kamchatkina.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-2687-3603>  
Author ID: 651157

### 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 05.09.2025.  
Approved after reviewing 12.10.2025.  
Accepted for publication 21.10.2025.



**Применение BIM-технологий при возведении современного завода по производству железнодорожных колес «Аллегро» в особой экономической зоне «Титановая долина» в Верхней Салде**

**И.Ф. Загруддинов<sup>1✉</sup>, М.В. Пучков<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

**Аннотация.** В статье исследованы особенности применения технологий информационного моделирования зданий при возведении современного завода по производству железнодорожных колес «Аллегро», расположенного в особой экономической зоне «Титановая долина» в Верхней Салде. Рассмотрены предпосылки внедрения BIM для данного масштабного промышленного проекта, методология его использования на стадии проектирования, включая выбор программного обеспечения и организацию совместной работы. Детально проанализированы преимущества, достигнутые благодаря BIM, такие как повышение качества проектных решений, эффективная координация разделов, ускорение выпуска документации. Представлена математическая модель оценки экономического эффекта от предотвращения коллизий, построенная на усредненных оценочных данных, подтверждающая значительную экономию затрат. Отдельное внимание уделено потенциалу использования созданной BIM-модели на стадии эксплуатации завода в качестве основы для цифрового двойника, помогающего оптимизировать техническое обслуживание, управление ресурсами и реагирование на инциденты. Опыт проекта «Аллегро» демонстрирует высокую эффективность BIM-технологий для реализации сложных промышленных объектов, подтверждает их роль как инструмента цифровизации строительной отрасли и является успешным примером для тиражирования на других крупных инвестиционных проектах.

**Ключевые слова:** технологии BIM, информационное моделирование, промышленное строительство, обнаружение коллизий, цифровой двойник, управление проектами

**Для цитирования:** Загруддинов И.Ф., Пучков М.В. Применение BIM-технологий при возведении современного завода по производству железнодорожных колес «Аллегро» в особой экономической зоне «Титановая долина» в Верхней Салде // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 4. С. 702–710. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-4-702-710>. EDN: OOLEIW.

**Original article**

**The use of BIM technologies in the construction of a modern Allegro railway wheel manufacturing plant in the Titanium Valley Special Economic Zone in Verkhnyaya Salda**

**Ildar F. Zagrutdinov<sup>1✉</sup>, Maxim V. Puchkov<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

**Abstract.** The article examines the specifics of the use of building information modeling technologies in the construction of a modern Allegro railway wheel manufacturing plant located in the Titanium Valley special economic zone in Verkhnyaya Salda. The prerequisites for the introduction of BIM for this large-scale industrial project, the methodology of its use at the design stage, including the choice of software and the organization of collaboration, are considered. The advantages achieved through BIM are analyzed in detail, such as improving the quality of design solutions, effective coordination of sections, and speeding up the release of documentation. A mathematical model for estimating the economic effect of

© Загруддинов И.Ф., Пучков М.В., 2025

collision avoidance is presented, based on average estimated data, confirming significant cost savings. Special attention is paid to the potential of using the created BIM model at the plant's operational stage as the basis for a digital twin that helps optimize maintenance, resource management, and incident response. The experience of the Allegro project demonstrates the high efficiency of BIM technologies for the implementation of complex industrial facilities, confirms their role as a tool for digitalization of the construction industry and is a successful example for replication in other large investment projects.

**Keywords:** BIM technologies, information modeling, industrial construction, collision detection, digital twin, project management

**For citation:** Zagrutdinov I.F., Puchkov M.V. The use of BIM technologies in the construction of a modern Allegro railway wheel manufacturing plant in the Titanium Valley Special Economic Zone in Verkhnyaya Salda. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2025;15(4):702-710. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-4-702-710>. EDN: OOLEIW.

## ВВЕДЕНИЕ

Современное промышленное строительство в России переживает этап трансформации, обусловленной необходимостью повышения эффективности инвестиционно-строительных проектов, сокращения сроков их реализации и оптимизации затрат на всех стадиях жизненного цикла объекта, как отмечают И.В. Новоселова и И.А. Чернявский [1].

Основную роль играют цифровые технологии, среди которых особое место занимает информационное моделирование зданий (BIM – Building Information Modeling). Как отмечено Е.Н. Рыбиным с соавторами [2] «...в основе BIM-технологий лежат трехмерные модели проектируемых объектов. BIM – процесс моделирования и управления полным жизненным циклом сооружения. Наличие единой цифровой модели объекта может стать базой для дальнейшей цифровизации». Применение BIM помогает автоматизировать значительную долю расчетов, увеличить скорость проектирования, снизить количество ошибок, упростить процессы согласования, экспертизы и приемки работ, что в конечном итоге ведет к снижению стоимости строительства. При этом D. Tang, K. Liu [3] отмечают, что использование BIM в целом процессе управления стоимостью строительства возможно при помощи вычислительного интеллекта. L. Liu [4] подтверждает, что BIM играет решающую роль в управлении строительными проектами, значительно повышая эффективность и снижая затраты.

Вопросы финансовой эффективности и оптимизации затрат в строительстве, достигаемые за счет BIM, подробно рассматриваются в исследованиях M. Rui [5] анализирует методы управления стоимостью на всем жизненном цикле проекта.

Применение BIM-технологий в управлении проектами также является объектом изучения L. Liu [4] и Z. Li [6].

Важным этапом, где BIM обеспечивает существенную экономию и снижение рисков, является фаза торгов и контрактации, что подчеркивается в работе W. Li [7] и Y. Miao [8]. R.-R. Dong [9] и J. Liu [10], фокусируется на роли BIM в управлении качеством строительства и обучении персонала. Перспективность использования BIM на стадии архитектурного проектирования для улучшения планирования выделяют Y. Lin, J. You [11].

Кроме того, внедрение BIM в управление проектами на протяжении всего жизненного цикла объекта, как отмечено Z. Li [12] и И.В. Новоселовой, И.А. Чернявским [1], является важным для повышения эффективности и устойчивости строительной отрасли.

Несмотря на очевидные преимущества, успешное внедрение BIM сопряжено с преодолением вызовов, связанных с адаптацией организационных процессов и технологическими барьерами, о чем пишут M.A. Al-Hammadi, W. Tian [11].

Одним из ярких примеров реализации крупного промышленного объекта с применением передовых подходов является строительство завода по производству железнодорожных колес «Аллегро» в особой экономической зоне (ОЭЗ) «Титановая долина» в г. Верхняя Салда Свердловской области.

ОЭЗ «Титановая долина», созданная постановлением Правительства РФ № 1032 от 16 декабря 2010 г., представляет собой территорию с особым юридическим статусом, предназначенную для привлечения инвестиций в высокотехнологичные производства.

Площадка «Верхняя Салда» специализируется на производстве изделий из титана, компонентов для машиностроения, стройматериалов и другой продукции.

К 2023 г. объем инвестиций в ОЭЗ превысил 20 млрд руб., создано около 2000 рабочих мест. ООО «Аллегро» является совместным

предприятием ЕВРАЗ и ООО «Рейл Сервис», созданным на паритетных началах с целью организации современного производства цельнокатанных железнодорожных колес. Проектная мощность предприятия составляет 200 тыс. колес в год с возможностью расширения до 300 тыс. штук. Строительство началось в мае 2021 г., а запуск производства был запланирован на 2023 г. Учитывая сложность и масштабы проекта, а также стремление к максимальной эффективности, было принято решение реализовать его в качестве пилотного проекта с комплексным применением BIM-технологий на всех этапах – от проектирования до ввода в эксплуатацию. Целью статьи является анализ опыта применения BIM-технологий при строительстве завода «Аллегро», рассмотрение методологии внедрения, возникших сложностей, достигнутых результатов и перспектив использования цифровой модели на стадии эксплуатации объекта.

### МЕТОДЫ

Проект строительства завода «Аллегро» включал возведение на участке, площадью 11 га, основного производственного цеха, административно-бытового корпуса и ряда вспомогательных объектов: станции водоподготовки, компрессорной станции, автономной котельной и сервисной мастерской.

Строительство велось в чистом поле, что требовало создания всей необходимой инфраструктуры (рис. 1.).

Решение об использовании BIM-технологий было принято на ранней стадии проекта.

Для всех участников – заказчика (ООО «Аллегро» в лице учредителей ЕВРАЗ и «Рейл Сервис»), генерального проектировщика и подрядных организаций – это был первый опыт комплексного применения информационного моделирования в столь масштабном промышленном проекте.



**Рис. 1. Панорамный вид завода «Аллегро»**  
**Fig. 1. Panoramic view of Allegro factory**

Традиционные подходы к проектированию и управлению строительством часто сопряжены с рядом проблем:

- ошибки проектирования из-за недостаточной координации между различными разделами проекта и отсутствия единой актуальной информационной среды;
- непоследовательная и неполная передача данных между смежными специалистами, приводящая к использованию устаревшей информации и необходимости переделок;

– срывы сроков и увеличение стоимости из-за позднего обнаружения коллизий и необходимости внесения изменений на стадии строительства.

Ожидалось, что внедрение BIM поможет минимизировать риски и обеспечить эффективное управление проектом. Была сформирована специальная рабочая группа из специалистов по различным направлениям (электрика, газоснабжение, технология, строительные конструкции и др.), ответственных за создание и

ведение соответствующих частей информационной модели.

После анализа доступных программных решений было решено использовать комплекс инструментов, таких как Autodesk Revit для архитектурно-строительного проектирования и инженерных систем, Tekla Structures для детализации металлических и железобетонных конструкций, Model Studio CS для технологического проектирования и компоновки оборудования. Для сборки сводной модели, проверки на коллизии и организации среды общих данных была выбрана платформа Pilot-BIM от АСКОН.

Такой выбор был обусловлен необходимостью интеграции данных из различных САПР-систем и обеспечения совместной работы территориально распределенных команд проектировщиков и строителей. Выбор программных средств напрямую не был связан с технологией производства колес, но был ориентирован на обеспечение максимальной детализации и координации всех элементов сложного промышленного объекта.

#### **РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Переход к BIM потребовал пересмотра традиционных процессов проектирования. Первоначально генеральный проектировщик столкнулся с определенными трудностями адаптации к новым требованиям, что привело к необходимости многократной корректировки проектных наработок.

Стратегические преимущества BIM перевесили временные и трудовые затраты на этапе внедрения [14]. Результатом этапа проектирования стало создание комплексной информационной 3D-модели завода.

В среде Pilot-BIM все разделы проекта (архитектурные решения, конструкции, инженерные системы, технологическое оборудование) были объединены в единую сводную модель.

Данная модель представляет будущий объект с высокой степенью детализации и, что особенно важно, можно провести автоматизированную проверку на наличие пространственных и логических коллизий (пересечений) между элементами различных систем. В ходе проектирования завода «Аллегро» с помощью инструментов проверки коллизий было выявлено и устранено более 700 ошибок и нестыковок пересечения трубопроводов с металлоконструкциями, несоответствия расположения

оборудования проектным отметкам, конфликты между системами вентиляции и электрическими лотками и т. д. Обнаружение и исправление коллизий на стадии проектирования позволило избежать значительных затрат времени и средств, которые потребовались бы для их устранения на строительной площадке. Информационная модель стала основой для многовариантного проектирования. Были проанализированы и оптимизированы различные варианты размещения зданий и сооружений на генеральном плане, трассировки внешних инженерных сетей (водоснабжение, канализация, электроснабжение, связь), компоновки технологического оборудования внутри производственного цеха.

BIM-модель обеспечила наглядность предлагаемых решений и позволила выбрать наиболее оптимальные варианты с точки зрения логистики, технологических потоков и капитальных затрат (рис. 2.).

Применение BIM на стадии проектирования позволило решить следующие задачи:

- обеспечить высокое качество проектирования в установленные сроки;
- создать единую, согласованную информационную модель объекта;
- ускорить коллективную работу территориально удаленных проектных групп за счет общего доступа к актуальным данным;
- осуществить эффективную координацию всех разделов проекта;
- автоматизировать и ускорить выпуск проектной и рабочей документации непосредственно из модели;
- обеспечить прозрачность процесса проектирования, отслеживание изменений и идентификацию авторов этих изменений.

Преимущества, полученные на этапе проектирования:

- практически полное устранение проектных ошибок благодаря сборке и проверке сводной модели;
- минимизацию потерь информации при передаче данных между отделами и платформами;
- повышение эффективности коллективной работы и ускорение сроков проектирования (оценочно до 30 %);
- улучшение качества принимаемых решений за счет наглядности 3D-модели и возможности виртуального осмотра объекта;

– значительное сокращение времени на рассмотрение технических вопросов и согласование решений (оценочно до 40 %);

– раннее выявление и устранение коллизий привело к сокращению потенциальных непредвиденных расходов на строительной площадке (оценочно до 90 %);

– выпуск унифицированной и актуальной документации повысил эффективность управления ресурсами (оценочно до 35 %).

*Математическая модель оценки экономического эффекта от устранения коллизий*

Для количественной оценки одного из преимуществ BIM по снижению затрат за счет раннего обнаружения коллизий можно построить упрощенную математическую модель. Следует отметить, что используемые исходные данные (вероятности обнаружения коллизий) являются усредненными оценочными показателями, предназначенными для демонстрации принципа оценки экономического эффекта. Фактическая трудоемкость и стоимость устранения коллизий в реальных проектах существенно различаются в зависимости от их сложности и типа. Принятые значения  $P_{BIM} = 0,95$  и  $P_{trad} = 0,3$  основаны на обобщенных статистических данных и отраслевых бенчмарках, подтверждающих преимущество

автоматизированного обнаружения коллизий (BIM-координация) над традиционным, ручным методом, и используются в модели в качестве репрезентативных оценок для сложного промышленного проекта.

Оценим экономический эффект (E), достигаемый за счет предотвращения затрат на устранение коллизий на стадии строительства, где: N – общее количество потенциальных коллизий в проекте (для «Аллегро»  $N \approx 700$ ),  $P_{BIM}$  – усредненная оценочная вероятность обнаружения коллизии на стадии проектирования с использованием BIM (примем  $P_{BIM} = 0,95$ , т. к. BIM-инструменты значительно повышают вероятность),  $P_{trad}$  – усредненная оценочная вероятность обнаружения коллизии на стадии проектирования традиционными методами (примем  $P_{trad} = 0,3$ ),  $C_{design}$  – средняя стоимость устранения одной коллизии на стадии проектирования (затраты на внесение изменений в модель/чертежи, согласование),  $C_{constr}$  – средняя стоимость устранения одной коллизии, обнаруженной на стадии строительства (затраты на демонтаж/монтаж, материалы, простои, дополнительные работы).



**Рис. 2. Разрез здания водоподготовки**  
**Fig. 2. Section of the water treatment building**

Как правило,  $C_{constr} \gg C_{design}$ .

-  $k = \frac{C_{constr}}{C_{design}}$  (коэффициент удорожания, обычно  $k$  находится в диапазоне 5-20).

Суммарные затраты на устранение коллизий при традиционном подходе ( $Cost_{trad}$ ):

1. Коллизии, обнаруженные на проектировании:

$$Cost_{trad} = N \times P_{trad} \times C_{design} \quad (1)$$

$$Cost_{trad} = N \times P_{trad} \times C_{design} + N \times (1 - P_{trad}) \times C_{constr} \quad (2)$$

2. Коллизии, обнаруженные на строительстве:

$$Cost_{trad} = N \times (1 - P_{trad}) \times C_{constr} \quad (3)$$

$$Cost_{trad} = N \times C_{design} \times [P_{trad} + (1 - P_{trad}) \times k] \quad (4)$$

Суммарные затраты на устранение коллизий при использовании BIM ( $Cost_{BIM}$ ):

1. Коллизии, обнаруженные на проектировании:

$$Cost_{BIM} = N \times P_{BIM} \times C_{design} \quad (5)$$

$$Cost_{BIM} = N \times P_{BIM} \times C_{design} + N \times (1 - P_{BIM}) \times C_{constr} \quad (6)$$

2. Коллизии, обнаруженные на строительстве:

$$Cost_{BIM} = N \times (1 - P_{BIM}) \times C_{constr} \quad (7)$$

$$Cost_{BIM} = N \times C_{design} \times [P_{BIM} + (1 - P_{BIM}) \times k] \quad (8)$$

Экономический эффект (снижение затрат) от внедрения BIM ( $E$ ):

$$E = Cost_{trad} - Cost_{BIM} \quad (9)$$

$$E = N \times C_{design} \times \{ [P_{trad} + (1 - P_{trad}) \times k] - [P_{BIM} + (1 - P_{BIM}) \times k] \} \quad (10)$$

$$E = N \times C_{design} \times [(P_{trad} - P_{BIM}) + k \times ((1 - P_{trad}) - (1 - P_{BIM}))] \quad (11)$$

$$E = N \times C_{design} \times [(P_{trad} - P_{BIM}) + k \times (P_{BIM} - P_{trad})] \quad (12)$$

$$E = N \times C_{design} \times (P_{trad} - P_{BIM}) \times (k - 1) \quad (13)$$

Подставим принятые значения  $N = 700$ ,  $P_{BIM} = 0,95$ ,  $P_{trad} = 0,3$

$$E = 700 \times C_{design} \times (0,95 - 0,30) \times (k - 1)$$

$$E = 700 \times C_{design} \times 0,65 \times (k - 1)$$

$$E = 455 \times C_{design} \times (k - 1)$$

Данная формула показывает, что экономический эффект прямо пропорционален количеству предотвращенных коллизий ( $N \times (P_{BIM} - P_{trad})$ ), средней стоимости их исправления на этапе проектирования ( $C_{design}$ ) и коэффициенту удорожания исправления на стройплощадке ( $k - 1$ ).

Учитывая снижение затрат по проекту «Аллегро» более чем на 199,836 млн руб. только за счет устранения коллизий, можно оценить

порядок величин  $C_{design}$  и  $k$ . Если предположить, что средняя стоимость исправления коллизии на стройке в десять раз выше, чем при проектировании ( $k = 10$ ), то:

$$E = 455 \times 48,800 \times (10 - 1) = 199,836 \text{ млн руб.}$$

Тогда, чтобы экономия составила 200 млн руб., средняя стоимость исправления одной коллизии на этапе проектирования ( $C_{design}$ ) должна составлять 48 800 руб. Такая оценка выглядит реалистичной для сложного промышленного объекта. Модель наглядно демонстрирует существенный экономический эффект от применения BIM за счет раннего выявления и устранения проектных ошибок. Важным аспектом проекта «Аллегро» стало намерение использовать созданную информационную модель не только на этапах проектирования и строительства, но и в процессе эксплуатации завода. BIM-модель, дополненная исполнительной документацией и данными о фактическом состоянии конструкций и систем, становится цифровым двойником объекта. Отметим возможности для эффективного управления эксплуатацией:

- доступ к достоверной информации, у служб эксплуатации (руководителей, энергетиков, механиков) появляется постоянный доступ к полной и актуальной информации о всех конструктивных элементах, инженерных сетях (газовых, водных, канализационных, электрических), установленном оборудовании;

- планирование технического обслуживания и ремонтов (ТОиР), модель может хранить паспорта оборудования, графики ТОиР, сведения о проведенных ремонтах, на основе анализа данных и состояния элементов можно прогнозировать сроки физического износа, планировать превентивные ремонты и оптимизировать затраты на обслуживание;

- управление энергопотреблением, интеграция модели с системами учета энергоресурсов помогает анализировать фактическое потребление, выявлять зоны неэффективного использования и оптимизировать режимы работы инженерных систем;

- оперативное реагирование на инциденты, в случае аварий или нестандартных ситуаций модель обеспечивает быструю навигацию по объекту, идентификацию поврежденных участков или оборудования, доступ к необходимой технической документации для оперативного устранения проблемы;

- расчет эксплуатационных затрат, модель может точно планировать и контролировать эксплуатационные расходы, а также оценивать экономическую эффективность внедрения

энергосберегающих или иных улучшающих мероприятий;

– обучение персонала, 3D-модель и VR-технологии могут использоваться для обучения персонала безопасным методам работы с оборудованием и действиям в чрезвычайных ситуациях.

Передача BIM-модели в эксплуатацию закладывает основу для создания цифрового двойника завода «Аллегро», чтобы оптимизировать операционные процессы, снизить затраты на жизненном цикле объекта и повысить надежность его функционирования. Помимо инновационного подхода к проектированию и строительству с использованием BIM, сам завод «Аллегро» оснащен передовыми технологиями и оборудованием, чтобы обеспечивать высокую степень автоматизации и экологичности производства. Внедрен полностью роботизированный межоперационный склад колес емкостью 3800 шт., где роботы управляют размещением и подачей заготовок. Автоматизированы линии выходного контроля и пилы горячей резки заготовок. На прессопрокатной линии (прессы усилием 5 и 10 тыс. т) и участке термообработки используются порталные и напольные роботы.

Каждой заготовке присваивается уникальный идентификационный номер, помогающий отслеживать ее на всех этапах производства – от нагревательной печи до отгрузки готового колеса. Установлена современная кольцевая нагревательная печь, прессопрокатная линия, закалочная и отпускная печи, закалочные устройства.

Реализован замкнутый цикл водопользования с многоступенчатой системой водоподготовки (фильтрация, химическая очистка). Внедрена система рекуперации тепла отходящих газов нагревательных печей для обогрева. Организован сбор и утилизация отработанных масел для вторичной переработки. Предусмотрены две железнодорожные ветки для доставки заготовок и отгрузки готовой продукции,

а также возможность отгрузки автотранспортом.

Завод работает в тесной кооперации с ЕВРАЗ НТМК, который поставляет стальную заготовку и делится своей экспертизой в области производства железнодорожных колес. Общий объем инвестиций в проект составил около 18 млрд руб., а также создано 425 новых рабочих мест.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Пилотный проект строительства завода «Аллегро» с применением BIM-технологий продемонстрировал высокую эффективность данного подхода для реализации сложных промышленных объектов. Комплексное использование информационного моделирования позволило существенно повысить качество проектирования, избежать примерно 700 потенциальных коллизий на строительной площадке, оптимизировать проектные решения и, как следствие, снизить риски срыва сроков и перерасхода бюджета. Экономия затрат только за счет устранения коллизий на ранних стадиях оценивается примерно в 200 млн руб.

Результаты проекта показали преимущества BIM перед традиционными методами проектирования и строительства, обеспечивая лучшую координацию участников, повышенную достоверность и доступность информации, ускоренное принятие решений и возможность создания основы для эффективной эксплуатации объекта на протяжении всего жизненного цикла.

Успешный опыт, полученный на проекте «Аллегро», послужил основанием для принятия решения о тиражировании BIM-технологий для реализации других крупных инвестиционных проектов, таких как строительство нового отсека хвостохранилища на ЕВРАЗ КГОК. Внедрение BIM-технологий на проекте «Аллегро» является примером успешной цифровизации строительной отрасли и подтверждает их роль как необходимого инструмента для реализации сложных и ответственных проектов в современных экономических условиях.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Новоселова И.В., Чернявский И.А. Применение BIM-технологий на всех стадиях жизненного цикла строительного проекта // *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2022. Т. 1. № 3. С. 4–15. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-3-4-15>. EDN: MHNQVN.
2. Рыбин Е.Н., Амбарян С.К., Аносов В.В., Гальцев Д.В., Фахротов Н.А. BIM-технологии // *Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость*. 2019. Т. 9. № 1. С. 98–105. EDN: HLTTRU.
3. Dan Tang, Kongling Liu Exploring the Application of BIM Technology in the Whole Process of Construction Cost Management with Computational Intelligence // *Computational Intelligence and Neuroscience*. 2022. Vol. 2022. Iss. 1. P. 1–9. <https://doi.org/10.1155/2022/4080879>.
4. Lin Liu The Application of BIM Technology in Construction Project Management // *Engineering Technology Trends*. 2024. Vol. 2. Iss. 1. P. 1–5. <https://doi.org/10.37155/2972-483X-0201-6>.

5. Rui Ma Application Analysis of BIM Technology in Construction Engineering Cost Management // Journal of Electronic Research and Application. 2024. Vol. 8. Iss. 5. P. 1–6. <https://doi.org/10.26689/jera.v8i5.8474>.
6. Zongya Li Research on the Application of BIM Technology in Construction Project Management // Academic Journal of Architecture and Geotechnical Engineering. 2023. Vol. 5. Iss. 4. P. 54–59. <https://doi.org/10.25236/AJAGE.2023.050408>.
7. Li Wei Application of BIM Technology in Construction Bidding // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2017. Vol. 100. P. 1–5. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/100/1/012178>.
8. Yuhai Miao The Application of BIM Technology in Tendering and Bidding Stage of Construction Projects // Industrial Engineering and Innovation Management. 2023. Vol. 6. Iss. 7. P. 10–15. <https://doi.org/10.23977/ieim.2023.060702>.
9. Run-Run Dong The Application of BIM Technology in Building Construction Quality Management and Talent Training // Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education. 2017. Vol. 13. Iss. 7. P. 4311–4317. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2017.00860a>.
10. Liu Junjie Application of BIM Technology in Construction Quality Management // Academic Journal of Engineering and Technology Science. 2022. Vol. 5. Iss. 2. P. 10–12. <https://doi.org/10.25236/AJETS.2022.050203>.
11. Ying Lin, Juan You Research on the Application of BIM Technology in the Architectural Design Phase // Journal of World Architecture. 2025. Vol. 9. Iss. 3. P. 89–94. <https://doi.org/10.26689/jwa.v9i3.10924>.
12. Ziang Li The Application of BIM Technology in the whole Life Cycle of Construction Project // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 510. P. 1–7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/510/6/062004>.
13. Al-Hammadi M.A., Tian W. Challenges and Barriers of Building Information Modeling Adoption in the Saudi Arabian Construction Industry // The Open Construction & Building Technology Journal. 2020. Vol. 14. P. 98–110. <http://doi.org/10.2174/1874836802014010098>.
14. Hosseini M.R., Tivendale L., Azari E., Banihashemi S., Chileshe N. Building Information Modeling (BIM) in Iran: An Exploratory Study // Journal of Engineering Project and Production Management. 2016. Vol. 6. Iss. 2. P. 78–89. <http://doi.org/10.32738/JEPPM.201607.0001>.

## REFERENCES

1. Novoselova I.V., Chernyavsky I.A. Application of BIM Technologies At All Stages Of a Construction Project Life Cycle. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2022;1(3):4-15. (In Russ.). <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-3-4-15>. EDN: MHNQVN.
2. Rybin E.N., Ambaryan S.K., Anosov V.V., Galcev D.V., Fakhratov M.A. BIM Technology. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2019;9(1):98-105. (In Russ.). EDN: HLTTRU.
3. Dan Tang, Kongling Liu Exploring the Application of BIM Technology in the Whole Process of Construction Cost Management with Computational Intelligence. *Computational Intelligence and Neuroscience*. 2022;2022(1):1-9. <https://doi.org/10.1155/2022/4080879>.
4. Lin Liu The Application of BIM Technology in Construction Project Management. *Engineering Technology Trends*. 2024;2(1):1-5. <https://doi.org/10.37155/2972-483X-0201-6>.
5. Rui Ma Application Analysis of BIM Technology in Construction Engineering Cost Management. *Journal of Electronic Research and Application*. 2024;8(5):1-6. <https://doi.org/10.26689/jera.v8i5.8474>.
6. Zongya Li Research on the Application of BIM Technology in Construction Project Management. *Academic Journal of Architecture and Geotechnical Engineering*. 2023;5(4):54-59. <https://doi.org/10.25236/AJAGE.2023.050408>.
7. Li Wei Application of BIM Technology in Construction Bidding. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2017;100:1-5. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/100/1/012178>.
8. Yuhai Miao The Application of BIM Technology in Tendering and Bidding Stage of Construction Projects. *Industrial Engineering and Innovation Management*. 2023;6(7):10-15. <https://doi.org/10.23977/ieim.2023.060702>.
9. Run-Run Dong The Application of BIM Technology in Building Construction Quality Management and Talent Training. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*. 2017;13(7):4311-4317. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2017.00860a>.
10. Liu Junjie Application of BIM Technology in Construction Quality Management. *Academic Journal of Engineering and Technology Science*. 2022;5(2):10-12. <https://doi.org/10.25236/AJETS.2022.050203>.
11. Ying Lin, Juan You Research on the Application of BIM Technology in the Architectural Design Phase. *Journal of World Architecture*. 2025;9(3):89-94. <https://doi.org/10.26689/jwa.v9i3.10924>.
12. Ziang Li The Application of BIM Technology in the whole Life Cycle of Construction Project. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020;510:1-7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/510/6/062004>.

13. Al-Hammadi M.A., Wei Tian Challenges and Barriers of Building Information Modeling Adoption in the Saudi Arabian Construction Industry. *The Open Construction & Building Technology Journal*. 2020;14:98-110. <http://doi.org/10.2174/1874836802014010098>.

14. Hosseini M.R., Tivendale L., Azari E., Banihashemi S., Chileshe N. Building Information Modeling (BIM) in Iran: An Exploratory Study. *Journal of Engineering Project and Production Management*. 2016;6(2):78-89. <http://doi.org/10.32738/JEPPM.201607.0001>.

**Информация об авторах****Information about the authors**

**Загруткин 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>

**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>

**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

**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

**Вклад авторов****Contribution of the authors**

Все авторы сделали эквивалентный вклад  
в подготовку публикации.

The authors contributed equally to this article.

**Конфликт интересов****Conflict of interests**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта  
интересов.

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.

**Информации о статье****Information about the article**

Статья поступила в редакцию 14.07.2025.  
Одобрена после рецензирования 19.08.2025.  
Принята к публикации 29.08.2025.

The article was submitted 14.07.2025.  
Approved after reviewing 19.08.2025.  
Accepted for publication 29.08.2025.



## Эколого-экономические аспекты сброса хозяйственно-бытовых сточных вод на Байкальской природной территории

О.Л. Лавыгина<sup>✉1</sup>, Р.Н. Ярыгин<sup>2</sup>, В.И. Дударев<sup>3</sup>,  
О.А. Гребнева<sup>4,5</sup>, С.А. Полторыхин<sup>6</sup>, В.Н. Кульков<sup>7</sup>

<sup>1-4,7</sup>Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

<sup>5</sup>Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, Иркутск, Россия

<sup>6</sup>ООО «Теплоресурс», Магистральный, Россия

**Аннотация.** Эколого-экономические риски для предприятий, эксплуатирующих централизованные системы водоотведения, представлены как риском загрязнения почвы при аварийных разливах сточных вод, так и риском загрязнения водных объектов при сбросе в них сточных вод. Размеры платежей за ущерб почвенному покрову может исчисляться сотнями и миллионами рублей и зависит преимущественно от площади разлива сточной жидкости. Современные методы стимулирования водопользователей использовать более качественные средства и технологии очистки сточных вод сводятся преимущественно к увеличению суммы платежей за несоблюдение установленных требований к качеству очищаемой воды. Подобный подход неизбежно приведет к увеличению тарифов за коммунальные услуги. Экономическое стимулирование водопользователей к внедрению наилучших доступных технологий в водоочистке направлено на применение повышающих коэффициентов при расчете платы за негативное воздействие. В тоже время, для эксплуатирующих организаций, целесообразным было бы предусмотреть систему понижающих коэффициентов при существенном снижении количества сбрасываемых загрязняющих веществ по сравнению с установленными нормативными показателями. Такой дифференцированный подход позволит создать реальную заинтересованность эксплуатирующих организаций в обеспечении качества очистки сточных вод и в модернизации оборудования. Исследование выполнено в рамках государственного задания (№ FWEU-2021-0002, Рег. № АААА-А21-121012090012-1) программы фундаментальных исследований Российской Федерации на 2021–2025 г.

**Ключевые слова:** водоотведение, сточные воды, сбросы, канализационные очистные сооружения, загрязняющие вещества, плата за сбросы

**Для цитирования:** Лавыгина О.Л., Ярыгин Р.Н., Дударев В.И., Гребнева О.А., Полторыхин С.А., Кульков В.Н. Эколого-экономические аспекты сброса хозяйственно-бытовых сточных вод на Байкальской природной территории // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 4. С. 711–720. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-4-711-720>. EDN: OYDKUA.

### Original article

## Ecological and economic aspects of the discharge of domestic wastewater in the Baikal natural area

Olga L. Lavygina<sup>✉1</sup>, Roman N. Yarygin<sup>2</sup>, Vladimir I. Dudarev<sup>3</sup>,  
Oksana A. Grebneva<sup>4,5</sup>, Stanislav A. Poltorikhin<sup>6</sup>, Victor N. Kulkov<sup>7</sup>

<sup>1-4,7</sup>Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

<sup>5</sup>Energy Systems Institute SB RAS, Irkutsk, Russia

<sup>6</sup>LLC Teplioresurs, Magistralnii, Russia

**Abstract.** Environmental and economic risks for enterprises operating centralized wastewater disposal systems are represented by both the risk of soil contamination in case of emergency wastewater spills and the risk of contamination of water bodies by wastewater discharge into them. The amount of payments for damage to the soil cover can be in the hundreds and millions of rubles and depends mainly on

the area of the sewage spill. Modern methods of encouraging water users to use better wastewater treatment facilities and technologies are mainly reduced to increasing the amount of payments for non-compliance with established requirements for the quality of treated water. Such an approach will inevitably lead to an increase in utility tariffs. Economic incentives for water users to introduce the best available technologies in water treatment are aimed at applying increasing coefficients when calculating fees for negative impacts. At the same time, for operating organizations, it would be advisable to provide a system of lowering coefficients with a significant reduction in the amount of pollutants discharged in comparison with the established regulatory indicators. Such a differentiated approach will create a real interest of operating organizations in ensuring the quality of wastewater treatment and in upgrading equipment. The study was carried out within the framework of the state assignment (No. FWEU-2021-0002, Reg. No. ААААА-А21-121012090012-1) Fundamental research programs of the Russian Federation for 2021-2025.

**Keywords:** sanitation, wastewater, discharges, sewage treatment plants, pollutants, discharge charges

**For citation:** Lavygina O.L., Yarygin R.N., Dudarev V.I., Grebneva O.A., Poltorykhin S.A., Kulkov V.N. Ecological and economic aspects of the discharge of domestic wastewater in the Baikal natural area. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2025;15(4):711-720. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-4-711-720>. EDN: OYDKUA.

## ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях, когда социально-экономическое развитие России направлено на учет экологических аспектов, защите водных ресурсов отводится особая роль. Основными источниками негативного воздействия (НВОС) являются канализационные очистные сооружения (КОС), входящие в состав коммунальных систем, которые принимают сточные воды как от жилых, так и от производственных объектов.

Системы очистки сточных вод, обслуживающие населенные пункты, сопряжены не только с инвестиционными затратами, но и с существенными эксплуатационными расходами [1]. Оптимальный для общества уровень борьбы с загрязнением воды определяется путем нахождения компромисса между затратами на борьбу с загрязнением и ущербом, нанесенном экосистеме [2]. Эксплуатация централизованных систем водоотведения включает в себя проведение технических и организационных мероприятий, направленных на обеспечение бесперебойной и качественной очистки сточных вод. Это является труднодостижимой задачей в условиях высокого уровня износа большинства средних и малых очистных сооружений. Современные требования государственного экологического контроля в полной мере позволяют реализовать принцип «загрязнитель платит». С одной стороны, данный подход позволяет применять к эксплуатирующим организациям меры экономического стимулирования, которые заключаются не только в обязанности вносить платежи за

сброс загрязняющих веществ в составе сточных вод, но и в уплате ущерба за загрязнение почвенного покрова при аварийных разливах. Ужесточение законодательных норм привело к существенному повышению сумм за негативное влияние на элементы окружающей среды загрязняющих веществ в составе сточных вод, которые, как ожидается, будут расти. С другой стороны, следует отметить, что в настоящее время отсутствуют понижающие коэффициенты (или другие налоговые льготы) для предприятий, которые следят за качеством очистки и сбрасывают сточные воды с концентрациями загрязняющих веществ значительно меньшими, чем допустимые [3]. Некоторые авторы [4–9] отмечают высокие финансовые риски для водопользователей, осуществляющих сброс сточных вод в водные объекты. Особую роль в формировании платежной базы играет территориальное размещение объектов негативного воздействия. В частности, для КОС, расположенных в границах Байкальской природной территории, применяется повышающий коэффициент. Таким образом, сумма платежей удваивается.

Целью данной работы является оценка финансовых издержек, связанных с эксплуатацией очистных сооружений, входящих в состав централизованных систем водоотведения.

## МЕТОДЫ

В основе реализации принципа платности природопользования лежит обязанность природопользователей вносить плату за загрязнение компонентов окружающей среды. В данной работе рассмотрен расчет платы только за

сброс загрязняющих веществ в водные объекты.

Следует отметить, что помимо данного вида оплаты, эксплуатирующие организации являются плательщиками за выбросы, поступающие с очистных сооружений (метан, сероводород и т. д.) и отходы, образующиеся при их эксплуатации (мусор с защитных решеток, песок с песколовков и т. д.).

Для определения размера платы за негативное воздействие сбросов загрязняющих веществ в пределах нормативов допустимых сбросов (НДС) используется формула:

$$P_{нд} = \sum_{i=1}^n (M_{ндi} \cdot H_{плi} \cdot K_{от} \cdot K_{нд} \cdot K_{во} \cdot K_{инд}), \quad (1)$$

где  $n$  – количество загрязняющих веществ,  $M_{ндi}$  – платежная база за сбросы загрязняющих веществ, т,  $H_{плi}$  – ставка платы за сбросы загрязняющих веществ, руб./т (утверждены Распоряжением правительства № 1852-р на период 2025–2030 гг.)<sup>1</sup>,  $K$  – коэффициент к ставкам платы,  $K_{от}$  – дополнительный коэффициент (применяется для территорий и объектов, находящихся под особой охраной),  $K_{нд}$  – повышающий коэффициент (применяется при превышении НДС),  $K_{во}$  – коэффициент к ставкам платы за сбросы загрязняющих веществ для которых устанавливаются технологические показатели наилучших доступных технологий,  $K_{инд}$  – дополнительный коэффициент, применяемый к ставкам платы<sup>2</sup>.

Перечень загрязняющих веществ определен в соответствии с природоохранным законодательством:

1. Аммоний-ион, нитрат-ион, нитрит-ион, фосфат-ион, взвешенные вещества, БПК<sub>5</sub> установлены как технологически нормируемые вещества.

2. АСПАВ, железо, фенол, сульфид-ион, марганец, фторид-ион, нефтепродукты учитываются в перечне сбрасываемых веществ по итогам инвентаризации сбросов, проведенной в соответствии с требованиями постановления правительства<sup>3</sup> [6].

Для проведения численных исследований были приняты концентрации веществ, полученные лабораторным путем, организацией,

имеющей аккредитацию на данные виды работ. Это говорит об использовании достоверной исходной информации для решения поставленной в статье задачи. Платежная база определяется эксплуатирующими организациями самостоятельно на основе данных производственного экологического контроля (ПЭК). В Распоряжении № 2409-р от 1 сентября 2025 г. приведены ставки платы за сбросы загрязняющих веществ за данный год с прогнозом до 2030 г. (табл. 1)<sup>4</sup>.

В данной статье представлен расчет платежей за негативное воздействие сброса загрязнений в составе сточных вод с перспективой их увеличения до 2030 г. Рассматриваемые канализационные очистные сооружения с проектной производительностью 2700 м<sup>3</sup>/сут принимают хозяйственно-бытовые стоки от жилого поселка в объеме 1200 м<sup>3</sup>/сут. В состав входят тангенциальная песколовка (1 шт), аэротенки (2 шт), первичные и вторичные отстойники, минерализаторы. Сброс очищенных сточных вод осуществляется в водный объект рыбохозяйственного назначения.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Расчет платежей за негативное воздействие осуществляется ежегодно по результатам производственного контроля и зависит от установленных НДС. Для расчета в качестве исходных данных были приняты концентрации загрязняющих веществ в сточных водах, определенные лабораторией для одного из предприятий, эксплуатирующих централизованные системы водоотведения за 2025 и 2030 г. (рис. 1). Результаты показали, что к 2030 г. основной вклад в определение суммы платежей вносит именно железо. В современных условиях, когда большая часть эксплуатируемых сетей выполнена из металлических корродированных труб и имеет большую степень износа, риски предприятия на повышение ставок платы становятся значительными. Для данных, представленных на гистограммах, был проведен расчет платежей за негативное воздействие предприятия на водный объект за период 2025–2030 гг. при условии отсутствия превышения НДС, результаты которого представлены в табл. 2.

<sup>1</sup>Распоряжение Правительства Российской Федерации от 10 июля 2025 г. № 1852-р. «Ставки платы за негативное воздействие на окружающую среду»

<sup>2</sup>Постановление Правительства Российской Федерации от 10 июля 2025 г. № 1034 «О дополнительных коэффициентах к ставкам платы за негативное воздействие на окружающую среду»

<sup>3</sup>Постановление Правительства Российской Федерации от 13 июля 2019 г. № 891 «Об утверждении Правил проведения инвентаризации сбросов загрязняющих веществ в окружающую среду»

<sup>4</sup>Распоряжение Правительства Российской Федерации от 1 сентября 2025 г. № 2409-р «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду в 2026–2030 гг. и о внесении изменений в распоряжение Правительства Российской Федерации от 10 июля 2025 г. № 1852-р»

**Таблица 1.** Ставки платы за сбросы загрязняющих веществ с 2025 по 2030 г.  
**Table 1.** Rates of fees for pollutant discharges from 2025 to 2030

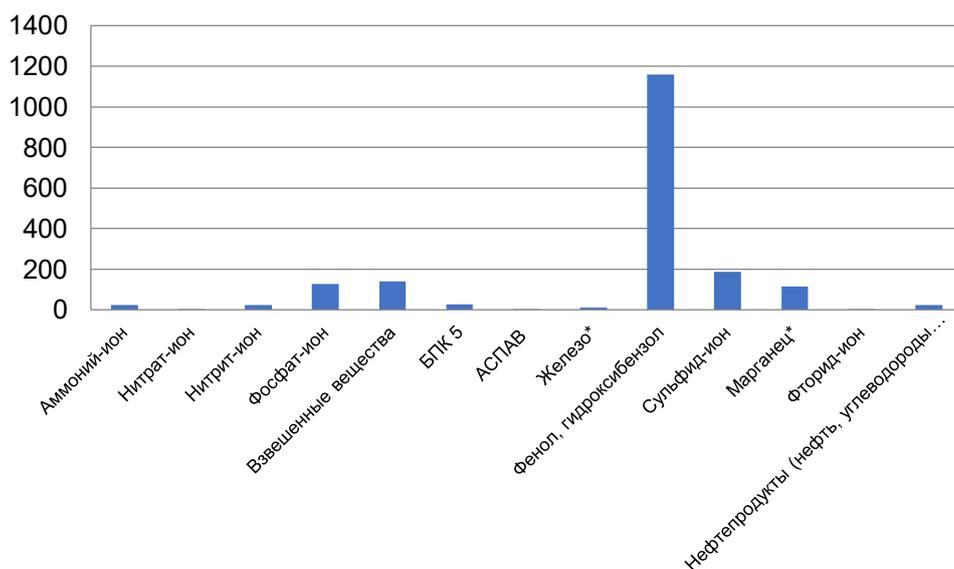
№ п/п	Наименование вещества	2025	2026	2027	2028	2029	2030
1	Аммоний-ион	1797,2	2639,3	7917,8	13 196,3	26 392,7	52 785,4
2	Нитрат-ион	22,5	33	99,1	165,1	330,2	660,5
3	Нитрит-ион	11 232,9	16 512,1	49 536,2	82 560,3	165 120,6	330 241,2
4	Фосфат-ион	5555,74	26 392,7	79 178,1	131 963,4	263 926,9	527 853,7
5	Взвешенные вещества	1475,57	1542	1289,9	1289,9	1319,6	2639,3
6	БПК5	377,2	628,4	1885,2	3142	6284	12 567,9
7	АСПАВ	1800,37	13 196,3	39 589	65 981,7	131 963,4	263 926,9
8	Железо	8985,71	13 196343	39 589028	65 981713	131 963425	263 926850
9	Фенол	1 110657	13 19634,3	39 58902,8	6 598171,3	13 196343	26 392685
10	Сульфид-ион	179 701	263 926,9	791 780,6	1 319634,3	2 639268,5	5 278537
11	Марганец	111 065	131 963,4	395 890,3	659 817,1	1 319634,3	2 639268,5
12	Фторид-ион	1483,73	26 392,7	79 178,1	131 963,4	263 926,9	527 853,7
13	Нефтепродукты	22 214,7	26 392,7	79 178,1	131 963	263 927	527 854

Превышение установленных нормативов ведет к применению повышающих коэффициентов. При наступлении данных обстоятельств сумма платежей за вещества, сброшенные сверх установленного норматива, увеличивается в 100 раз. В таком случае эксплуатирующая организация вместо 1839 и 327 643 руб. обязана будет заплатить 183 900 и 32 764 300 руб. в 2025 и 2030 г. соответственно.

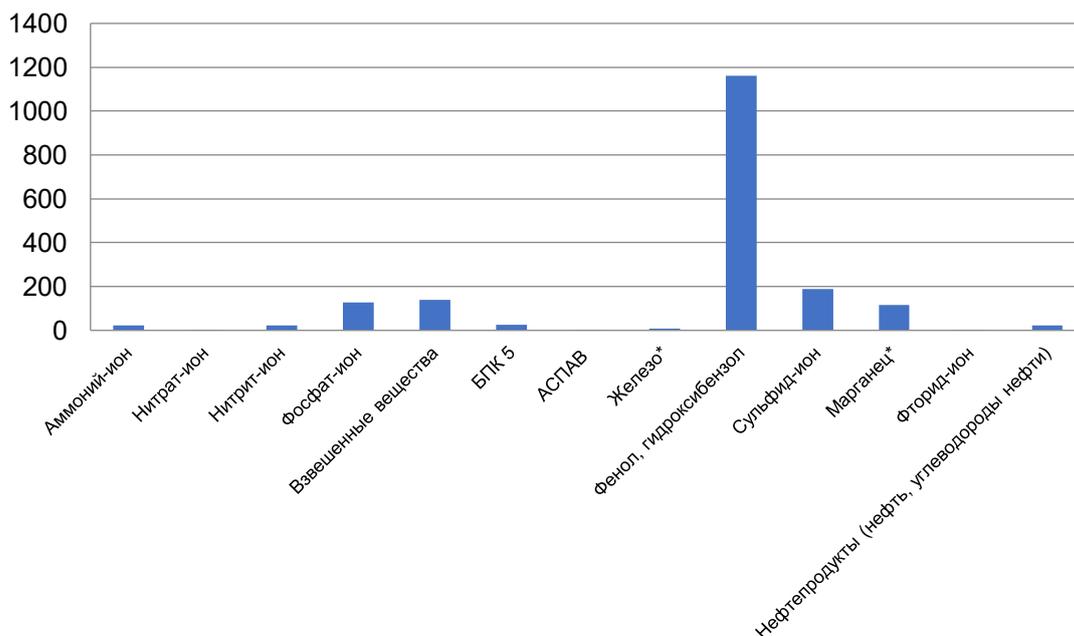
При расчете согласно [5] принимались следующие значения для повышающих коэффициентов к ставкам платежей:  $K_{от} = 2$ , так как рассматриваемые канализационные очистные сооружения расположены в границах Байкальской природной территории,  $K_{нд} = 1$ ,

$K_{во} = 0,5$  т. е. применяется только для АСПАВ, железа, фенола, марганца, фторид-иона, нефтепродуктов,  $K_{инд} = 1,045$ . Проведенный анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что ставки планомерно увеличиваются. Особенно заметно увеличение ставок за железо. Наличие последнего в составе сточных вод может свидетельствовать о выносе окиси железа вследствие эксплуатации коррозированных трубопроводов. Это связано с большой степенью износа оборудования систем водоотведения (более 50 %).

В связи с этим объяснимо превышение концентрации железа на выходе из очистных сооружений [8].



а



b

Рис. 1. Гистограммы платежей за негативное воздействие на окружающую среду по веществам: а – 2025 г.; б – 2030 г.

Fig. 1. Histograms of payments for negative environmental impact by substances: a – 2025; b – 2030

В настоящее время Минприроды подтверждает, что несоразмерно высокая ставка платы за сбросы загрязняющего вещества (железо) требует корректировки. Следует отметить, что расчет произведен при условии соблюдения НДС. В случае недостижения установленных нормативов, эксплуатирующая организация при расчете платежей за НВОС вынуждена использовать повышающий коэффициент  $K_{нд} = 100$ .

На рис. 2 представлена динамика роста платежей за НВОС в перспективе до 2030 г., которая свидетельствует о стремительном росте платежей за анализируемый период. Основной фактор, приводящий к такому росту, это повышение ставок.

Данная динамика неизбежно приведет к росту тарифов за водоотведение для населения. Учитывая тот факт, что в составе источников образования сточных вод отсутствуют производственные объекты, можно предположить, что фенолы и фториды поступают с питьевой водой и случайными сбросами от автономных объектов. Анионные СПАВ поступают с хозяйственно-бытовым стоком. Биологическая очистка практически не способна обезвреживать данные вещества. Более того, подобные вещества приводят к снижению биохимических процессов [9]. Подобные вещества не только не могут быть обезврежены, они провоцируют

гибель отдельных микроорганизмов, входящих в состав активного ила. Так снижается эффективность очистки от органических веществ.

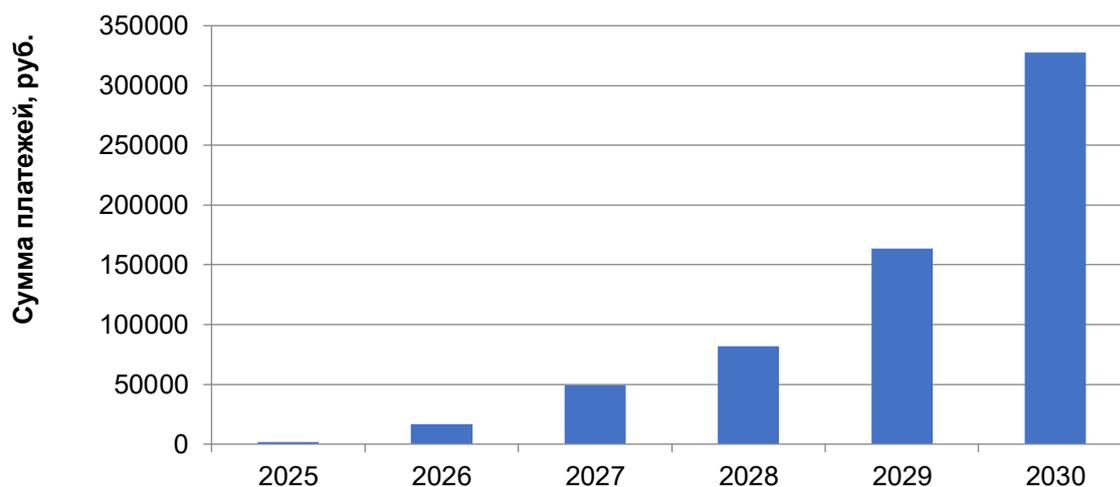
Сточные воды представляют собой всегда сложный химический раствор, содержащий не только загрязняющие вещества органического происхождения, но и химические соединения металлов, синтетических моющих средств, нефтепродуктов и механических примесей в виде песка и средств гигиены. В настоящее время для организаций, эксплуатирующих централизованные системы водоотведения, предусмотрена возможность контроля абонентов за исключением многоквартирных домов. При этом не исключена вероятность слива в централизованную систему водоотведения стоков, содержащих агрессивные многокомпонентные растворы: остатки лекарственных препаратов, щелочные или кислотные моющие средства, спиртосодержащие растворы и т. д. Данный факт может привести не только к превышению концентраций загрязняющих веществ в сточных водах, но и к снижению эффективности работы средств очистки, например, активного ила. Приведенный расчет платы не является окончательной суммой, поскольку не отражает суммы за выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух и за размещение отходов.

**Таблица 2. Результаты расчета платы за негативное воздействие на окружающую среду 2025–2030 гг.**

**Table 2. The results of the calculation of fees for negative environmental impact 2025-2030**

№ п/п	Наименование вещества	Платежная база, т (M <sub>ндп</sub> )	Результаты расчета платы за НВОС, руб.					
			2025	2026	2027	2028	2029	2030
1	Аммоний-ион	0,006	22,53	33,09	99,28	165,48	330,96	661,92
2	Нитрат-ион	0,003	0,14	0,20	0,62	1,03	2,07	4,14
3	Нитрит-ион	0,001	23,47	34,51	103,53	172,55	345,10	690,20
4	Фосфат-ион	0,011	127,7	606,76	1820,3	3033,8	6067,6	12135
5	Взвешенные вещества	0,045	138,7	145,02	121,31	121,31	124,10	248,22
6	БПК5	0,033	26,01	43,34	130,02	216,70	433,40	866,80
7	АСПАВ	0,001	1,88	13,79	41,37	68,95	137,90	275,80
8	Железо	0,001	9,39	13 790,18	41 370,53	68 950,89	137 901,8	275 803,6
9	Фенол	0,001	1160	1379,01	4137,05	6895,08	13 790,1	27 580,3
10	Сульфид-ион	0,001	187,7	275,80	827,41	1379,01	2758,03	5516,07
11	Марганец	0,001	116,1	137,90	413,70	689,50	1379,01	2758,03
12	Фторид-ион	0,001	1,55	27,58	82,74	137,90	275,80	551,60
13	Нефтепродукты	0,002	23,21	27,58	82,74	137,90	275,80	551,60
Итого			1839	16 514	49 230	81 970	163 821	327 643

**Динамика роста платежей за негативное воздействие на окружающую среду**



**Рис. 2. Динамика роста платежей за негативное воздействие на окружающую среду в перспективе до 2030 г.**

**Fig. 2. The dynamics of the growth of payments for negative environmental impact in the future until 2030**

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные методы экономического стимулирования водопользователей направлены на использование повышающих коэффициентов при недостижении нормативов сбросов [10–15]. В современных экономических условиях эксплуатация канализационных очистных сооружений является сложной комплексной задачей, решение которой сводится не только к поддержанию в работоспособном состоянии оборудования и сооружений, но и к обеспечению требуемого качества очистки сточных вод. Суммы, подлежащие к оплате за НВОС, подлежат включению в тариф за водоотведение для абонентов, использующих централизованные системы водоотведения. Таким образом, в ближайшем будущем следует ожидать существенного повышения тарифов для населения.

Существенный рост сумм за НВОС связан с ростом ставок за сбросы загрязняющих веществ с 2025 по 2030 г. Расчет показал, что сумма платежей увеличится в 178 раз. При превышении НДС используется повышающий коэффициент, вследствие чего сумма может еще увеличиться.

Очевидно, что для водопользователей возникают существенные финансовые риски, которые подталкивают на разработку мероприятий по повышению качества очистки сточных вод. Для большего стимулирования организаций, эксплуатирующих системы водоотведения, на внедрение более современных мето-

дов и технологий очистки сточных вод следовало бы ввести в плату за негативное воздействие понижающие коэффициенты при обеспечении концентраций вредных веществ существенно ниже установленных норм.

Подобная мера позволит сформировать устойчивую заинтересованность предприятий в долгосрочных инвестициях в модернизацию оборудования очистных сооружений и внедрение современных качественных технологий очистки. Особенно это актуально для организаций, заключивших концессионное соглашение.

Это позволит не только снизить финансовую нагрузку предприятий, эксплуатирующих централизованные системы водоотведения, соблюсти экологические стандарты, но и создаст предпосылки снижения в перспективе тарифов для конечных потребителей коммунальных услуг. Тенденция роста платежей неизбежно приведет к кризису в сфере водоснабжения и водоотведения.

Организации, эксплуатирующие системы водоотведения по концессионному соглашению, вынуждены будут приостанавливать его действие. Природоохранная политика стимулирует оснащать очистные сооружения биологической очистки дополнительным оборудованием для физико-химической очистки. Следует отметить, что реконструкция, модернизация и внедрение новых методов и оборудования требует существенных инвестиций со стороны государства.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Nogueira R., Brito A.G., Machado A.P., Janknecht P., Salas J.J., Vera L. et al. Economic and Environmental Assessment of Small and Decentralized Wastewater Treatment Systems // *Desalination and Water Treatment*. 2009. Vol. 4. P. 16–21. <https://doi.org/10.5004/DWT.2009.349>.
2. Yu Jiang, Ariel Dinar, Petra Hellegers Economics of Social Trade-Off: Balancing Wastewater Treatment Cost and Ecosystem Damage // *Journal of Environmental Management*. 2018. Vol. 211. P. 42–52. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.01.047>.
3. Колобаев А.Н., Мелешко А.А. Совершенствование методики расчета платы за сброс сточных вод в природные водные объекты // *Природные ресурсы*. 2020. № 1. С. 17–22. EDN: TOVGCX.
4. Волошина А.А., Колобаев А.Н. Совершенствование платы за сброс сточных вод // *Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте. Материалы междунар. науч.-тех. конф.* (г. Минск, 17–18 октября 2024 г.). Минск, 2024. С. 153–159. EDN: QAATTS.
5. Субботинская В.А. Аспекты платы за сброс сверх установленных нормативов состава сточных вод // *Экология производства*. 2024. № 6. С. 102–107. EDN: PQODHF.
6. Лисовская Г.В. Взыскание платы за сброс загрязняющих веществ в составе сточных вод сверх установленных нормативов: изменение правовых подходов // *Экономическое правосудие на Дальнем Востоке России*. 2022. № 3. С. 23–28. EDN: MGZIKM.
7. Вильсон Е.В., Бутко Д.А. Методология формирования базового норматива платы за сброс производственных сточных вод в централизованную систему водоотведения // *Интернет-журнал «Науковедение»*. 2017. Т. 9. № 3. С. 1–9. EDN: ZEIRYV.
8. Василевич Э.Э., Лавыгина О.Л., Дударев В.И. Современное состояние канализационных очистных сооружений на севере Иркутской области // *Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость*. 2024. Т. 14. № 4. С. 719–726. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-4-719-726>. EDN: PIOOGA.
9. Дягелев М.Ю. Повышение эффективности биологической очистки промышленных стоков в составе городских сточных вод // *Теоретическая и прикладная экология*. 2023. № 2. С. 96–103.

<https://doi.org/10.25750/1995-4301-2023-2-096-103>. EDN: JMDSAX.

10. Марьин Е.В. Правовое обеспечение платы за сброс загрязняющих веществ в водные объекты // *E-Scio*. 2020. № 4. С. 675–681. EDN: JFDLMK.
11. Крестьянцева Е.С. Плата за нарушение требований к сбросу сточных вод в ЦСБ // *Экология производства*. 2023. № 10. С. 10–19. EDN: NPTVLI.
12. Боглачева Е.В., Одоева Ж.В. О некоторых вопросах, возникающих при рассмотрении споров о взимании платы за негативное воздействие на работу централизованной системы водоотведения и платы за сброс загрязняющих веществ в составе сточных вод сверх установленных нормативов состава сточных вод // *Арбитражные споры*. 2020. № 3. С. 13–46. EDN: RTTXUB.
13. Трейман М.Г. Эколого-экономические инструменты и методы расчета экономического ущерба в природоохранной деятельности // *Экономика и управление*. 2013. № 11. С. 96–99. EDN: RRUКCX.
14. Марголина Е.В. Экономические механизмы стимулирования уменьшения сбросов загрязненных сточных вод // *Природообустройство*. 2016. № 2. С. 95–100. EDN: WAAEЗD.
15. Авдеенков П.П., Чистяков Н.Е. Сброс сточных вод с превышением загрязнений по биогенным элементам // *Вестник науки и образования*. 2019. № 10–4. С. 50–52. EDN: AFIQLO.

## REFERENCES

1. Nogueira R., Brito A.G., Machado A.P., Janknecht P., Salas J.J., Vera L. et al. Economic and Environmental Assessment of Small and Decentralized Wastewater Treatment Systems. *Desalination and Water Treatment*. 2009;4:16-21. <https://doi.org/10.5004/DWT.2009.349>.
2. Yu Jiang, Ariel Dinar, Petra Hellegers Economics of Social Trade-Off: Balancing Wastewater Treatment Cost and Ecosystem Damage. *Journal of Environmental Management*. 2018;211:42-52. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.01.047>.
3. Kolobaev A.N., Meleshko A.A. About Charging a Fee for the Discharge of Wastewater into Natural Water Objects. *Natural Resources*. 2020;1:17-22. (In Russ.). EDN: TOVGСX.
4. Voloshina A.A., Kolobaev A.N. Improving the Fee for Wastewater Discharge. In: *Innovatsionnye tekhnologii v vodnom, kommunalnom khozyaistve i vodnom transporte. Materialy mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii = Innovative Technologies in Water, Public Utilities and Water Transport. Proceedings of the International Scientific and Technical Conference*. 17–18 October 2024, Minsk. Minsk; 2024. P. 153–159. (In Russ.). EDN: QAATTS.
5. Subbotinskaya V.A. Aspects of Fees for Discharge of Wastewater in Excess of Established Standards. *Ehkologiya proizvodstva*. 2024;6:102-107. (In Russ.). EDN: PQODHF.
6. Lisovskaya G.V. Collecting Fee for the Discharge of Pollutants in Wastewater in Above Regulations: Changing Legal Approaches. *Economic Justice in the Russian Far East Magazine*. 2022;3:23-28. (In Russ.). EDN: MGZIKM.
7. Wilson E.V., Butko D.A. Methodology of Formation of the Basic Standard of a Payment for Dumping Of Production Sewage into the Centralized System of Water Disposal. *Internet-zhurnal «Naukovedenie»*. 2017;9(3):1-9. (In Russ.). EDN: ZEIRYV.
8. Vasilevich E.E., Lavygina O.L., Dudarev V.I. Wastewater Treatment Facilities in the North of the Irkutsk Oblast: The Current State. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(4):719-726. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-4-719-726>. EDN: PIOOGA.
9. Dyagelev M.Yu. Improving the Efficiency of Biological Treatment of Industrial Wastewater as Part of Urban Wastewater. *Theoretical and Applied Ecology*. 2023;2:96-103. (In Russ.). <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2023-2-096-103>. EDN: JMDSAX.
10. Marin E.V. Legal Framework for Fees for the Discharge of Pollutants into Water Bodies. *E-Scio*. 2020;4:675-681. (In Russ.). EDN: JFDLMK.
11. Krestyantseva E.S. Fee for Violation of Requirements for Wastewater Discharge into Central Sewage Treatment Plants. *Ehkologiya proizvodstva*. 2023;10:10-19. (In Russ.). EDN: NPTVLI.
12. Boglacheva E.V., Odoeva Zh.V. On Some Issues Arising in the Consideration of Disputes Regarding the Collection of Fees for the Negative Impact on the Operation of the Centralized Wastewater Disposal System and Fees for the Discharge of Pollutants in Wastewater in Excess of the Established Standards for the Composition of Wastewater. *Arbitrazhnye spory*. 2020;3:13-46. (In Russ.). EDN: RTTXUB.
13. Treyman M.G. Methods for Calculating the Economic Damages to the Environment of the Russian Federation. *Economics and Management*. 2013;11:96-99. (In Russ.). EDN: RRUКCX.
14. Margolina E.V. Economic Encouragement Mechanisms of Polluted Waste Water Discharge. *Environmental Engineering*. 2016;2:95-100. (In Russ.). EDN: WAAEЗD.
15. Avdeenkov P.P., Chistyakov N.E. Discharge of Wastewater with Excess Pollution on Nutrient. *Vestnik nauki i obrazovaniya*. 2019;10–4:50-52. (In Russ.). EDN: AFIQLO.

**Информация об авторах****Лавыгина Ольга Леонидовна,**

к.т.н., доцент, доцент кафедры городского строительства и хозяйства, Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия, e-mail: [olgakot81@mail.ru](mailto:olgakot81@mail.ru) <https://orcid.org/0000-0002-9558-5018> Author ID: 689382

**Гребнева Оксана Александровна,**

к.т.н., доцент, доцент кафедры городского строительства и хозяйства, Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия, старший научный сотрудник, Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130, Россия, ✉e-mail: [oksana@isem.irk.ru](mailto:oksana@isem.irk.ru) <https://orcid.org/0000-0002-1492-5552> Author ID: 16850

**Дударев Владимир Иванович,**

д.т.н, профессор, профессор кафедры химии и биотехнологии им. В.В. Тутуриной Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия, e-mail: [vdudarev@mail.ru](mailto:vdudarev@mail.ru) <https://orcid.org/0000-0003-2378-7574>

**Ярыгин Роман Николаевич,**

аспирант, Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия, e-mail: [yarygin.r@hydrig.ru](mailto:yarygin.r@hydrig.ru)

**Полторыхин Станислав Александрович,**

технолог, ООО «Теплоресурс», 666504, р.п. Магистральный, ул. Российская, д. 8Б, Россия, e-mail: [Stas.poltorykhin@mail.ru](mailto:Stas.poltorykhin@mail.ru)

**Кульков Виктор Николаевич,**

д.т.н., профессор, профессор кафедры инженерных коммуникаций и систем жизнеобеспечения, Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия, e-mail: [kulkof.viktor@yandex.ru](mailto:kulkof.viktor@yandex.ru) <https://orcid.org/0000-0003-3838-0777> Author ID: 730720

**Information about the authors****Olga L. Lavygina,**

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Urban Construction and Economy, Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia, e-mail: [olgakot81@mail.ru](mailto:olgakot81@mail.ru) <https://orcid.org/0000-0002-9558-5018> Author ID: 689382

**Oksana A. Grebneva,**

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Urban Construction and Economy, Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia, Senior Researcher, Energy Systems Institute SB RAS, 130 Lermontov St., Irkutsk 664033, Russia, ✉e-mail: [oksana@isem.irk.ru](mailto:oksana@isem.irk.ru) <https://orcid.org/0000-0002-1492-5552> Author ID: 16850

**Vladimir I. Dudarev,**

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Chemistry and Biotechnology named after V.V. Tuturina, Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia, e-mail: [vdudarev@mail.ru](mailto:vdudarev@mail.ru) <https://orcid.org/0000-0003-2378-7574>

**Roman N. Yarygin,**

Postgraduate Student, Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia, e-mail: [yarygin.r@hydrig.ru](mailto:yarygin.r@hydrig.ru)

**Stanislav A. Poltorikhin,**

Technologist, LLC Teplioresurs, 8B Rossiiskaya St., Magistralnii 666504, Russia, e-mail: [Stas.poltorykhin@mail.ru](mailto:Stas.poltorykhin@mail.ru)

**Victor N. Kulkov,**

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Engineering Communications and Life Support Systems, Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia, e-mail: [kulkof.viktor@yandex.ru](mailto:kulkof.viktor@yandex.ru) <https://orcid.org/0000-0003-3838-0777> Author ID: 730720

#### **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 09.07.2025.  
Одобрена после рецензирования 11.08.2025.  
Принята к публикации 25.08.2025.

#### **Contribution of the authors**

The authors contributed equally to this article.

#### **Conflict of interests**

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

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

#### **Information about the article**

The article was submitted 09.07.2025.  
Approved after reviewing 11.08.2025.  
Accepted for publication 25.08.2025.



## Жизненный цикл зданий с учетом физического износа

А.Г. Петунин<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup>Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

**Аннотация.** Целью данной работы является исследование влияния физического износа конструктивных элементов на жизненный цикл объекта капитального строительства в целом. По результатам многочисленных обследований зданий выявлены значительные недостатки существующей методики определения физического износа, которая обосновывает и планирует ремонтные мероприятия для дальнейшей эксплуатации с обеспечением безотказной работы конструктивных элементов и инженерных систем. Современная реальность характеризуется объективной необходимостью сверхнормативной эксплуатации строительных объектов и, в первую очередь, многоэтажных жилых зданий. Проверка их соответствия современным эксплуатационным и моральным требованиям сопряжена с необходимостью проведения обследования и определения уровня физического износа здания. Его практическая реализация базируется на обобщении обнаруженных дефектов, неисправностей и повреждений конструктивных элементов и узлов их сопряжений по критериям современной стоимости аналогов. Такой подход не позволяет учесть сопутствующие изменения технических параметров эксплуатационных показателей зданий, определяющих потребность и вид ремонтно-восстановительных работ. В статье предложен оригинальный метод обобщения имеющихся неисправностей, учитывающих их влияние на эксплуатационную надежность здания по критерию вероятного прогрессирующего обрушения. Представлен пример его реализации для двух конструктивных схем панельных зданий серии 1-335С и 1-335(КС). Результаты определения физического износа стенового ограждения по скорректированной методике для зданий серии 1-335С (неполный каркас) и 1-335КС (полный каркас) показали их существенное различие при одинаковых участках обрушения стеновых панелей. Новая методика определения физического износа конструктивных элементов может быть использована практически на всех этапах жизненного цикла здания.

**Ключевые слова:** объект капитального строительства, жизненный цикл, физический износ, прогрессирующее обрушение, крупнопанельные здания, конструктивный элемент, полный и неполный каркас

**Для цитирования:** Петунин А.Г. Жизненный цикл зданий с учетом физического износа // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 4. С. 721–726. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-4-721-726>. EDN: RSBHAS.

### Original article

## The life cycle of buildings taking into account physical wear and tear

Aleksandr G. Petunin<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup>Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

**Abstract.** The purpose of this work is to study the effect of physical wear of structural elements on the life cycle of a capital construction facility as a whole. Based on the results of numerous surveys of buildings, significant shortcomings of the existing methodology for determining physical wear have been identified, which justifies and plans repair measures for further operation to ensure trouble-free operation of structural elements and engineering systems. Modern reality is characterized by the objective need for excessive operation of construction facilities and, first of all, multi-storey residential buildings. Checking their compliance with modern operational and moral requirements is associated with the need to conduct

an inspection and determine the level of physical deterioration of the building. Its practical implementation is based on a generalization of the detected defects, malfunctions and damages of structural elements and components of their interfaces according to the criteria of the modern cost of analogues. This approach does not allow us to take into account the accompanying changes in the technical parameters of the operational indicators of buildings, which determine the need and type of repair and restoration work. The article proposes an original method for summarizing the existing faults, taking into account their impact on the operational reliability of the building according to the criterion of probable progressive collapse. An example of its implementation for two structural schemes of panel buildings of the 1-335C and 1-335(KS) series is presented. The results of determining the physical wear of wall fencing using the adjusted methodology for buildings of the 1-335C (incomplete frame) and 1-335KS (complete frame) series showed their significant difference in the same areas of wall panel collapse. A new technique for determining the physical wear of structural elements can be used at almost all stages of the building's life cycle.

**Keywords:** capital construction object, life cycle, physical wear and tear, progressive collapse, large-panel buildings, structural element, complete and incomplete frame

**For citation:** Petunin A.G. The life cycle of buildings taking into account physical wear and tear. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2025;15(4):721-726. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-4-721-726>. EDN: RSBHAS.

## ВВЕДЕНИЕ

Одним из важнейших элементов управления жизненным циклом строительных объектов является системный мониторинг их технического состояния с целью оценки соответствия предъявляемым эксплуатационным требованиям.

При этом в качестве обобщенного критерия работоспособности зданий (сооружений) рассматривается (принимается) уровень их физического износа.

Согласно документам (СП 547.1325800.2025 и методическим рекомендациям «Правила оценки физического износа многоквартирных домов») его величина определяется экономическими затратами на амортизацию и восстановление с учетом срока эксплуатации объекта. То есть, при таком подходе фактическое техническое состояние объекта имеет косвенное, соподчиненное рыночной конъюнктуре значение.

Полагаем, что его использование для оценки работоспособности жилых зданий ограничено и не учитывает риски, связанные со сверхнормативным сроком их фактической эксплуатации. Более того, принципы определения физического износа зданий, как суммарной величины износа отдельных конструктивных элементов ограничены и не учитывают различия их ответственности в обеспечении технической надежности конкретного объекта [1–10].

Необходимость коррекции обобщенной оценки износа подтверждаются массовой сверхнормативной эксплуатацией жилых крупнопанельных зданий и социально-экономической целесообразностью, и верификацией их

технического состояния.

## МЕТОДЫ

Верификационную оценку технического состояния зданий (сооружений) с учетом установленных при обследовании дефектов, повреждений, признаков деструкции и других несовершенств предлагается проводить в следующей последовательности:

1. Определяется обобщенный показатель физического износа объекта по критериям работоспособности конструктивных элементов регламентированных СП 547.1325800.2025.

$$\Phi_k = \sum_{i=1}^{i=n} \Phi_i \times \frac{P_i}{P_k},$$

где  $\Phi_k$  – физический износ конструкции;  $P_i$  – размеры (площадь или длина) поврежденного участка, м<sup>2</sup> или м;  $P_k$  – размеры всей конструкции, м<sup>2</sup> или м;  $n$  – число поврежденных участков.

2. Осуществляется коррекция индивидуальных показателей физического износа конструктивных элементов, учитывающая их ответственность в обеспечении статической (динамической) неизменяемости здания (сооружения). Ее величина устанавливается по результатам нормативных (СП 385.1325800.2018) расчетов на прогрессирующее обрушение объекта, что позволяет прогнозировать последствия от вероятного обрушения элементов с признаками физического износа:

$$K_\phi = 1 + \sum_{i=1}^{i=n} N_i / N_k,$$

где  $K_\phi$  – коэффициент «ответственности» конструктивного элемента в статической (динамической) неизменяемости объекта;  $N_i$  – число вовлекаемых элементов при выходе из строя

рассматриваемой конструкции;  $N_k$  – общее число отдельных конструкций, элементов в здании;  $n$  – количество локальных разрушений (количество расчетов на прогрессирующее обрушение) для каждого отдельного вида конструктивного элемента.

Скорректированная величина физического износа определяется как

$$\Phi_{кр} = \Phi_k \times K_\Phi$$

3. Верификационный физический износ всего объекта:

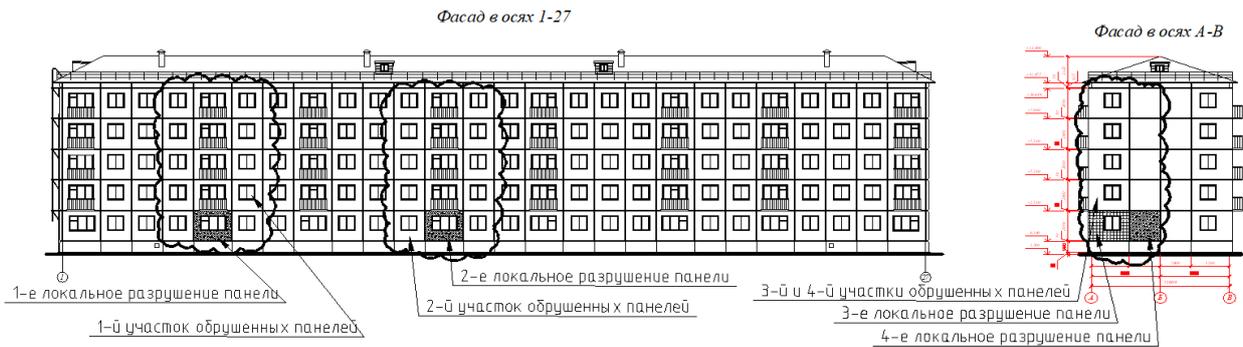
$$\Phi_3 = \sum_{i=1}^{i=n} \Phi_{kpi} \times l_i,$$

где  $\Phi_3$  – физический износ здания;  $l_i$  – коэффициент, соответствующий доле восстановительной стоимости отдельной конструкции, элемента или системы в общей восстановительной стоимости здания;  $n$  – число отдельных конструкций, элементов в здании.

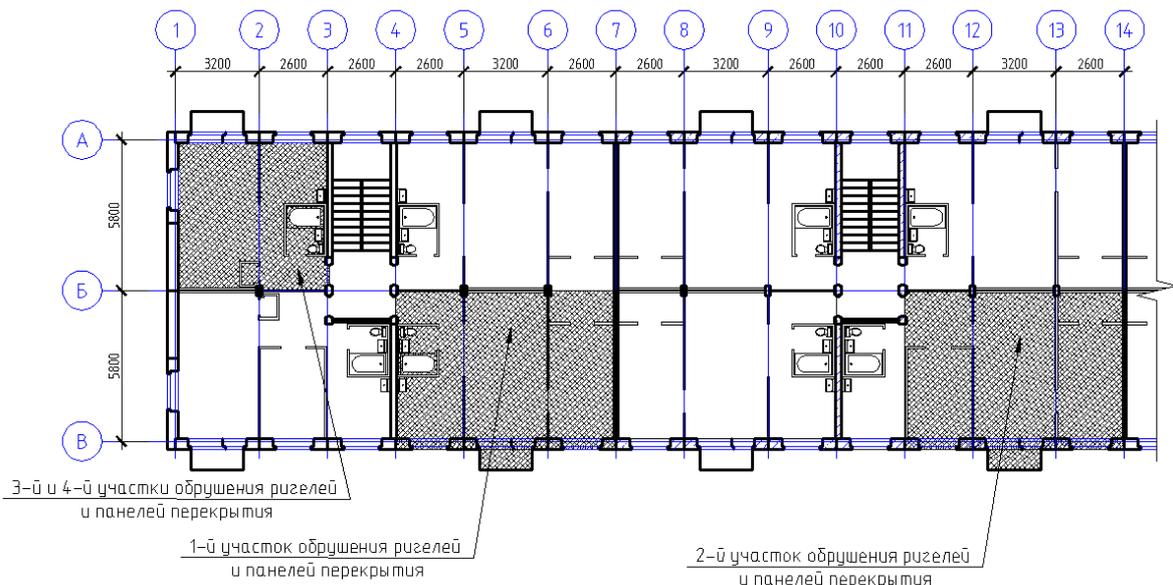
**РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Предлагаемый алгоритм был использован при определении физического износа жилых крупнопанельных зданий серии 1-335С и

1-335КС, отличающихся между собой несущей конструктивной системой (соответственно неполный и полный каркас). Их локальные дефекты и зоны вероятных прогрессирующих обрушений представлены на рисунке 1 и 2, а результаты расчета в таблицах 1 и 2 подтверждена неоднозначность последствий износа отдельных элементов в зависимости от общей конструктивной схемы. Коэффициент ответственности каркасного здания при рассматриваемых дефектах равен единице, а в прототипе существенно возрастает. Физический износ стенового ограждения крупнопанельного здания серии 1-335С увеличивается с 50 до 62 %, в то же время здание серии 1-335КС при локальном разрушении тех же четырех стеновых панелей такой же, как и по методике СП 547.1325800.2025 и методическим рекомендациям «Правила оценки физического износа многоквартирных домов», так как никакого прогрессирующего обрушения не происходит и коэффициент физического износа равен единицы.



**Рис. 1. Локальные разрушения панелей**  
**Fig. 1. Local destruction of panels**



**Рис. 2. Локальные разрушения ригелей и панелей перекрытия**  
**Fig. 2. Local destruction of crossbars and floor panels**

**Таблица 1.** Анализ физического износа стеновых ограждений здания серии 1-335С (неполный каркас) с учетом  $K_f$  при расчете на прогрессирующее обрушение четырех аварийных панелей

**Table 1.** Analysis of the physical wear of the wall fences of the 1-335C series building (incomplete frame), taking into account  $K_f$  when calculating the progressive collapse of four emergency panels

Серия 1-335С (5 эт., кол-во панелей 300)				
Участки обрушения	Физ. износ стенового ограждения, $\Phi_k$ , %	Число обруш. панелей, $N_i$	Коэф. «ответственности» констр. элем., $K_f$	Скорректир. физ. износ стенового ограждения $\Phi_{kr}$ , %
1	50	15	1,23	62
2		15		
3		20		
4		20		

**Таблица 2.** Анализ физического износа стеновых ограждений здания серии 1-335КС (полный каркас) с учетом  $K_f$  при расчете на прогрессирующее обрушение четырех аварийных панелей

**Table 2.** Analysis of the physical wear of the wall fences of the building of the 1-335KS series (full frame), taking into account the  $K_f$  in the calculation of the progressive collapse of four emergency panels

Серия 1-335КС (5 эт., кол-во панелей 300)				
Участки обрушения	Физ. износ стенового ограждения, $\Phi_k$ , %	Число обруш. панелей, $N_i$	Коэф. «ответственности» констр. элем., $K_f$	Скорректир. физ. износ стенового ограждения $\Phi_{kr}$ , %
1	50	0	1	50
2		0		
3		0		
4		0		

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из всего вышесказанного, можно сделать следующие выводы:

1. Сверхнормативное использование жилых зданий возможно при условии верификации и ранжирования их технического состояния по критериям эксплуатационной пригодности.

2. Работоспособность зданий оценивается посредством обобщения показателей физического износа несущих конструктивных элементов с учетом их ответственности при прогрессирующем обрушении.

3. Предлагаемая методика определения физического износа здания с помощью коэффициента «ответственности» конструктивного элемента позволяет выявить конструкции, для которых необходима в первую очередь регенерация, т.е. процесс, обеспечивающий восстановление несущей и эксплуатационной способности. В результате использования новых материалов и технологий восстановительные работы могут существенно повысить уровень надежности и долговечности конструкций и здания в целом.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Петров А.В., Пешков В.В., Петунин А.Г. Крупнопанельные здания серии 1-335 с наружными стеновыми панелями из газозолобетона: ремонтировать, реконструировать или сносить? // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. № 11. С. 85–91. EDN: VAUEOF.
- Петров А.В., Петунин А.Г. Реконструкция крупнопанельных зданий серии 1-335С с неполным каркасом в Иркутской области // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2012. № 2. С. 105–111. EDN: QCUWXV.
- Пинус Б.И., Кажарский В.В. Повышение сейсмостойкости крупнопанельных зданий: материалы международной научно-практической конференции. Иркутск, 2009. С. 167–173.
- Пинус Б.И., Кажарский В.В., Петунин А.Г. Концептуальные подходы к восстановлению работоспособности панельных зданий серии 1-335С // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2012. № 12. С. 144–148. EDN: PLVEXP.

5. Петунин А.Г. Анализ конструктивных решений при реконструкции крупнопанельных зданий // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2010. № 7. С. 95–99. EDN: NCGKFX.
6. Петунин А.Г. Трещиностойкость газобетонных панелей домов серии 1-335С // Наука, технологии, инновации в инвестиционно-коммунальном комплексе. Материалы Междунар. науч.-практ. конф. (г. Иркутск, 20–21 сентября 2009 г.). Иркутск, 2009. С. 153–156.
7. Петунин А.Г. Реконструкция крупнопанельных зданий в условиях сейсмической активности // Наука, технологии, инновации в инвестиционно-коммунальном комплексе. Материалы Междунар. науч.-практ. конф. (г. Иркутск, 20–21 сентября 2009 г.). Иркутск, 2009. С. 156–173.
8. Матвеев Е.П. Технология реконструкции малоэтажных зданий без отселения жильцов // Строительство и архитектура. 1997. № 3. С. 11–14.
9. Petrov A., Peshkov V., Petunin A. Industrial Technologies of Reconstruction of Large-Panel Buildings of the 1-335 Series // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 212. P. 1–6. <https://doi.org/10.1051/matec-conf/201821204009>.
10. Petrov A., Matveeva M., Petunin A. Large-Panel Buildings of the Series 1-335: Economics, Ecology, and Social Aspect // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 212. P. 1–6. <https://doi.org/10.1051/matec-conf/201821204008>.

## REFERENCES

1. Petrov A.V., Peshkov V.V., Petunin A.G. Large-Panel Buildings of 1-335 Series With External Gas Ash Concrete Wall Panels: To Repair, Renovate Or Demolish? *Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2015;11:85-91. (In Russ.). EDN: VAUEOF.
2. Petrov A.V., Petunin A.G. Reconstruction of Large-Panel Dwellings (Series 1-335s) with Incomplete Framework in Irkutsk Region. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2012;2:105-111. (In Russ.). EDN: QCUWXV.
3. Pinus B.I., Kazharskii V.V. *Improving the Seismic Resistance of Large-Panel Buildings: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. Irkutsk, 2009. P. 167–173. (In Russ.).
4. Pinus B.I., Kazharsky V.V., Petunin A.G. Conceptual Approaches to 1-335C Series Panel Buildings Performance Restoration. *Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2012;12:144-148. (In Russ.). EDN: PLVEXP.
5. Petunin A.G. Analysis of Structural Solutions when Reconstructing Large-Panel Buildings. *Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2010;7:95-99. (In Russ.). EDN: NCGKFX.
6. Petunin A.G. Crack Resistance of Aerated Concrete Panels of Houses of the 1-335C Series. In: *Nauka, tekhnologii, innovatsii v investitsionno-kommunalnom komplekse. Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Science, Technologies, Innovations in the Investment and Municipal Complex. Materials of the International Scientific and Practical Conference*. 20–21 September, 2009, Irkutsk. Irkutsk; 2009. P. 153–156. (In Russ.).
7. Petunin A.G. Reconstruction of Large-Panel Buildings in Seismic-Active Areas. In: *Nauka, tekhnologii, innovatsii v investitsionno-kommunalnom komplekse. Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Science, Technologies, Innovations in the Investment and Municipal Complex. Materials of the International Scientific and Practical Conference*. 20–21 September, 2009, Irkutsk. Irkutsk; 2009. P. 156–173. (In Russ.).
8. Matveev E.P. Technology for the Reconstruction of Low-Rise Buildings without Evicting Residents. *Stroitelstvo i arkhitektura*. 1997;3:11-14. (In Russ.).
9. Petrov A., Peshkov V., Petunin A. Industrial Technologies of Reconstruction of Large-Panel Buildings of the 1-335 Series. *MATEC Web of Conferences*. 2018;212:1-6. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201821204009>.
10. Petrov A., Matveeva M., Petunin A. Large-Panel Buildings of the Series 1-335: Economics, Ecology, and Social Aspect. *MATEC Web of Conferences*. 2018;212:1-5. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201821204008>.

### Информация об авторе

**Петунин Александр Геннадьевич**,  
старший преподаватель кафедры  
строительного производства,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,  
✉e-mail: termina@mail.ru  
<https://orcid.org/0009-0006-1004-4412>  
Author ID: 642339

### Information about the author

**Aleksandr G. Petunin**,  
Senior Lecturer of the Department  
of Construction Production,  
Irkutsk National Research Technical University,  
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,  
Russia,  
✉e-mail: termina@mail.ru  
<https://orcid.org/0009-0006-1004-4412>  
Author ID: 642339

### **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.

### **Конфликт интересов**

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

### **Информация о статье**

Статья поступила в редакцию 20.06.2025.  
Одобрена после рецензирования 25.07.2025.  
Принята к публикации 04.08.2025.

### **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.

### **Conflict of interests**

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

The final manuscript has been read and approved by the author.

### **Information about the article**

The article was submitted 20.06.2025.  
Approved after reviewing 25.07.2025.  
Accepted for publication 04.08.2025.



## Физика процесса управления на этапах организационно-технологического проектирования и строительного производства жизненного цикла объекта капитального строительства

А.Г. Покатилов<sup>1✉</sup>, М.В. Матвеева<sup>2</sup>, А.В. Пешков<sup>3</sup>, П.В. Шкитин<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

**Аннотация.** Целью исследования является поиск новых подходов к объяснению процессов управления объектами капитального строительства на этапах организационно-технологического проектирования и строительного производства их жизненного цикла с позиций теории потоков. Потоковая концепция функционирования строительных процессов основана на теории преобразование-поток-ценность, которая позволяет рассматривать строительные процессы как динамические системы с непрерывным движением материальных, финансовых и информационных потоков. Методика исследования основывается на анализе зарубежных нормативных документов, регламентирующих управление организационно-технологическим проектированием и строительным производством и научных публикаций по результатам исследований потоков в строительстве. Используются методы анализа, абстрагирования и аналогии для выявления специфики поведения потоков в строительной системе и формулировки выводов о влиянии отдельных потоков на общую надежность объекта строительства. Полученные результаты отражают современное состояние управления на этапах организационно-технологического проектирования и строительного производства, обозначают тенденции их развития и представляют новую интерпретацию строительных процессов с точки зрения потоковой концепции. Сделан вывод о необходимости интеграции межпоточных взаимодействий в процесс управления, поскольку устойчивость отдельного потока определяется не только его внутренней надежностью, но и характером взаимосвязей с другими элементами системы. Традиционные детерминированные методы управления недостаточны для удовлетворения требований современной строительной отрасли, требуя разработки принципиально нового подхода — физики процесса управления. Этот подход объединяет классические представления о строительных процессах с современными взглядами на поведение потоков, обеспечивая глубокое понимание внутреннего устройства и повышение эффективности организационно-технологического проектирования и строительного производства.

**Ключевые слова:** объект капитального строительства, жизненный цикл, организационно-технологическое проектирование; строительное производство, трансформация, поток, физика управления

**Для цитирования:** Покатилов А.Г., Матвеева М.В., Пешков А.В., Шкитин П.В. Физика процесса управления на этапах организационно-технологического проектирования и строительного производства жизненного цикла объекта капитального строительства // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 4. С. 727–733. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-4-727-733>. EDN: RWJNJB.

### Original article

## Physics of the management process at the stages of organizational and technological design and construction production of the life cycle of capital construction facility

Artem G. Pokatilov<sup>1✉</sup>, Maria V. Matveeva<sup>2</sup>, Artem V. Peshkov<sup>3</sup>, Pavel V. Shkitin<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

© Покатилов А.Г., Матвеева М.В., Пешков А.В., Шкитин П.В., 2025

**Abstract.** The purpose of the research is to find new approaches to explaining the management processes of capital construction facilities at the stages of organizational and technological design and construction production of their life cycle from the perspective of flow theory. The flow concept of the functioning of construction processes is based on the theory of transformation-flow-value, which allows us to consider construction processes as dynamic systems with continuous movement of material, financial and information flows. The research methodology is based on the analysis of foreign regulatory documents regulating the management of organizational and technological design and construction production, as well as scientific publications on the results of research on flows in construction. The methods of analysis, abstraction and analogy are used to identify the specifics of the flow behavior in the construction system and to formulate conclusions about the impact of individual flows on the overall reliability of the construction site. The results obtained reflect the current state of management at the stages of organizational and technological design and construction production, identify trends in their development and present a new interpretation of construction processes from the point of view of the flow concept. It is concluded that it is necessary to integrate inter-flow interactions into the control process, since the stability of an individual flow is determined not only by its internal reliability, but also by the nature of its interrelationships with other elements of the system. Traditional deterministic management methods are insufficient to meet the requirements of the modern construction industry, requiring the development of a fundamentally new approach — the physics of the management process. This approach combines classical concepts of construction processes with modern views on the behavior of flows, providing a deep understanding of the internal structure and increasing the efficiency of organizational and technological design and construction production.

**Keywords:** capital construction object, life cycle, organizational and technological design; construction production, transformation, flow, control physics

**For citation:** Pokatilov A.G., Matveeva M.V., Peshkov A.V., Shkitin P.V. Physics of the management process at the stages of organizational and technological design and construction production of the life cycle of capital construction facility. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2025;15(4):727-733. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-4-727-733>. EDN: RWJNJB.

## ВВЕДЕНИЕ

В литературе, описывающей процессы управления, строительное производство представлено в виде упорядоченной последовательности работ, которая может быть детально продумана и воспроизведена в соответствии с планом. Если в инвестиционно-строительном проекте отражена лишь четко определенная цель, возвести объект в соответствии с проектной документацией и ввести его в эксплуатацию, то упускается из виду, что производственные мощности и подрядчики распределены между несколькими проектами, условия на строительной площадке изменяются в результате деятельности в процессе строительного производства, а условия окружающей среды могут быть непредсказуемы, сотрудничество между параллельными потоками строительного производства нарушается из-за попыток повышения прибыли в ущерб качеству выполнения работ. Как правило, сверх этого возникают проблемы в управлении проектами, которое сосредоточено на управлении контрактами в ущерб управлению производством.

## МЕТОДЫ

Если взглянуть на строительное производство с точки зрения обозначенных проблем, то

можно понять, что рационального подхода недостаточно.

Управление в строительном производстве – это интерактивная сложная система, которая неизбежно находится на границе между порядком и хаосом [1].

Следовательно, детерминированный характер планирования, на котором основаны такие методы, как критический путь, может являться тупиковым. Кроме того, существует целый ряд фактов, показывающих недостатки концентрации на предварительной разработке требований к системе в противовес их развитию в процессе работы с проектом, в том числе при помощи высококвалифицированных кадров на местах.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Стоит отметить, что строительная отрасль продолжает использовать традиционную концепцию трансформации для управления производством.

Эта концепция рассматривает производство как чистое преобразование входов в выходы. Она предполагает иерархическую декомпозицию общей трансформации на более мелкие трансформации (задачи) и минимизацию затрат на каждую из них в отдельности.

Эта концепция полезна при необходимости увеличения эффективности новых или редко применяемых строительных производственных потоков, так как позволяет минимизировать их собственные внутренние затраты.

С другой стороны, концепция трансформации имеет два основных недостатка: она не рассматривает события в строительном производстве, помимо трансформации, и не учитывает, что не только трансформация повышает ценность продукта. Таким образом, управление производством с помощью традиционной концепции трансформации может стать неэффективным и нецелесообразным [2, 3, 4].

Необходимо понимать, что при работе со сложными системами сбои в процессе строительного производства должны рассматриваться как естественные результаты их функционирования. Такие явления, как возникновение и модификация шаблонов, развитие и суматоха, являются характеристиками сложных систем и, следовательно, тем, с чем нужно работать при управлении проектами и производством [5]. Можно утверждать, что производство по своей сути является процесс-ориентированной деятельностью. Но как сказано выше, в исследованиях и практике управления производством доминирует именно продукт-ориентированный взгляд на строительное производство [6].

В случае перехода к процесс-ориентированной деятельности ключевым вопросом, возникающим перед участниками строительных систем, является соотношение различных видов потоков и их взаимодействие в процессе производства.

1. Физические потоки – строительное производство включает, например, потоки материалов и оборудования, по крайней мере, их логистические аспекты.

2. Потоки опыта включают развитие восприятия клиентов или вопросы человеческих отношений и имеют решающее значение для определения потоков ценности.

3. Операционные потоки относятся к работе или деятельности. Центральным понятием здесь является человеческая деятельность (независимо от механизации), все потоки достигаются через нее [7].

Из этого вытекает другая концепция производства. Она рассматривает производство как поток – это означает, что помимо преобразований существуют виды деятельности, не добавляющие стоимости, такие как ожидание, инспекция и перемещение. В концепции потока основная цель – устранить из строительного производства не добавляющие стоимость действия или минимизировать их долю.

В результате достигаются некоторые улучшения: снижение неустойчивости, повышение гибкости и прозрачности [2, 8].

Не добавляющие стоимость внутренние части процесса, такие как инспекция, перемещение и ожидание, часто находятся в центре внимания менеджмента.

Концепция ценности фокусируется на удовлетворении всех требований заказчика (в процессе проектирования и возведения), создавая тем самым ценность с его точки зрения [9]. Она предполагает точный анализ потребностей заказчика и организованный поток требований, направленный на то, чтобы избежать потери ценности.

Однако более поздние разработки в области гибкого управления проектами показывают, что анализ требований должен быть итерационным и дополняемым процессом, обеспечивая тем самым большую уверенность в удовлетворении истинных потребностей клиентов в момент использования, а не спрогнозированных в момент концептуализации проекта.

В отличие от предыдущих, в ценностной концепции представлено восемь видов деятельности, не добавляющих стоимости в процессе строительного производства: перепроизводство, ожидание, ненужная транспортировка, чрезмерная или неправильная обработка, избыточные запасы, ненужные перемещения, дефекты/доработка, работа на ходу (без части необходимых исходных условий). Остальные виды деятельности могут увеличивать стоимость продукта.

Все эти концепции использовались одновременно и преобразовались в понятие физика процесса управления в строительном производстве [10]. Это теория взаимодействия потоков и понимание их природы в процессе строительного производства. Потоки включают в себя физические потоки в традиционном смысле, такие как поток материалов и оборудования, а также потоки информации, рабочей силы, пространства и внешних условий (погода, разрешения властей и т. д.). Концепция физики управления в строительном производстве имеет дело с потоками из всех источников, которые делают процесс надежным, и рассматривает эти потоки как одинаково важные для надежности процесса. Эта концепция также рассматривает взаимодействие между потоками, например, потоком материалов и потоком пространства. При этом стремятся выявить поток или комбинацию потоков, которые содержат низкий уровень производительности, разрывы, ограничения и узкие места для всего процесса, чтобы воздействовать на них – такие потоки являются критическими.

В центре внимания концепции физики процесса управления в строительном производстве находится не цепочка дискретных видов деятельности, а непрерывный процесс, питаемый рядом потоков, где содержание этих потоков определяет фактический результат.

Концепция физики процесса управления в строительном производстве основана на теории очередей и вдохновлена фабричной физикой [11]. Если фабричная физика рассматривает только поток деталей, то в строительном производстве используется более широкий подход, рассматривающий производственный процесс в целом, а также адаптирующий идеи фабричной физики к контексту строительного производства. В частности, внимания требуют следующие вопросы:

1. В контексте строительного производства существует один большой продукт, детали которого собираются на мобильных рабочих станциях. Таким образом, схема заводской физики, изображающая детали, проходящие через сеть рабочих станций, должна быть изменена.

2. Многие вопросы, от которых можно абстрагироваться в заводской физике или считать их постоянными, должны быть явно смоделированы с учетом их изменчивости в физике процесса управления в строительном производстве [12].

Существует множество потоков, питающих процесс создания продукта. Некоторые потоки легко идентифицировать, например, поток материалов, другие менее очевидны, например, доступность инструментов. Некоторые из них являются материальными, а другие – нематериальными, например, потоки информации, директив, согласований и погоды. Все они обязательны для определения и моделирования надежного процесса. Выделено семь типов условий, оказывающих влияние на строительное производство [13, 14]: строительный дизайн, компоненты и материалы, рабочие, оборудование, пространство, вопросы связи, внешние условия. Эта общая модель потоков не подходит для управления напрямую. Если она будет использоваться в дальнейшей работе, то каждый из базовых потоков может быть использован и в качестве подпотока. В такой схеме, даже при высокой надежности каждого из отдельных потоков, неопределенности оказывают гораздо большее влияние на общую неопределенность проекта, не говоря о возможных взаимодействиях или отрицательных обратных связях между потоками.

В таких условиях невозможно составить точные однозначные планы и неукоснительно

следовать им. В этом и заключается причина успеха подхода, включающего высококвалифицированный персонал на местах, при котором планы на ближайшее будущее – еженедельные рабочие планы, основанные на текущей фактической ситуации и включающие только обоснованные задачи. В то же время управляющий персонал, расположенный на удалении от производственного участка, учитывает логистику подготовки задач на ближайшие недели, принимая во внимание все потоки.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из вышеизложенного, организационно-технологическое проектирование и строительное производство осуществляются в сложной среде, где системы лежат на границе между порядком и хаосом.

Таким образом, существующие детерминированные методы управления производством (метод критического пути), обычно используемые в строительной отрасли, не могут соответствовать современным требованиям эффективного управления и в полной мере поддерживать функционирование потоков строительного производства. Возникающее несоответствие между предполагаемой природой, то есть продукт-ориентированным взглядом на строительное производство, и истинной природой производства, может приводить к серьезным общим сбоям в результате ошибок в управлении.

Поэтому для управления в строительном производстве необходимы новые подходы и инструменты, особенно с учетом взаимодействия людских потоков. Объемы этого взаимодействия являются основой для функционирования сложных систем. Концепция физики процесса управления в строительном производстве предлагает путь вперед. Она представляет собой модель, основанную на комбинации трех концепций производства, которая ведет к более глубокому пониманию процесса строительного производства и надлежащим образом основана на поведении внутренних потоков системы. Дальнейшее исследование концепции физики процесса управления в строительном производстве с точки зрения потоков может дать ответ на проблему нелинейной обратной зависимости между гибкостью и надежностью систем строительного производства. Так как взгляд на систему в динамике взаимодействия потоков отличается повышенной прозрачностью [2] от математического и статического понимания – увеличение гибкости всегда приводит к пропорциональному снижению надежности.

**СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Taylor M.C. *The Moment of Complexity: Emerging Network Culture*. Chicago: University of Chicago Press, 2003. 352 p.
2. Thomas H.R., Riley D., Sanvido V.E. Loss of Labor Productivity due to Delivery Methods and Weather // *Journal of Construction Engineering and Management*. 1991. Vol. 125. Iss. 1. P. 39–46. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1999\)125:1\(39\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1999)125:1(39)).
3. Bertelsen S., Emmitt S. The Client as a Complex System // Presented at the 13<sup>th</sup> Annual Conference in the International Group for Lean Construction. 2005. P. 1–10.
4. Koskela L.J., Kagioglou M. On The Metaphysics of Production // 13<sup>th</sup> International Group for Lean Construction Conference. 2005. P. 37–45.
5. Henrich G., Bertelsen S., Koskela L., Kraemer K., Rooke J., Owen R. Construction Physics – Understanding The Flows in a Construction Process // 15<sup>th</sup> Annual Conference of the International Group for Lean Construction. 2007. P. 1–15.
6. Shaomin Wu, Clements-Croome D., Fairey V., Albany B., Sidhu J., Desmond D. et al. Reliability in the Whole Life Cycle of Building Systems // *Engineering, Construction and Architectural Management*. 2006. Vol. 13. Iss. 2. P. 136–153. <https://doi.org/10.1108/09699980610659607>.
7. El-Haram M.A., Marenjak S., Horner M.W. Development of a Generic Framework for Collecting Whole Life Cost Data for the Building Industry // *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. 2002. Vol. 8. Iss. 2. P. 144–151. <https://doi.org/10.1108/13552510210430017>.
8. Bertelsen S., Koskela, L.J., Henrich G., Rooke J.A. Critical Flow – Towards a Construction Flow Theory // 14<sup>th</sup> Annual Conference of the International Group for Lean Construction. 2006. P. 31–40.
9. Hopp W.J., Spearman M.L. *Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management*. Boston: Irwin/McGraw-Hill, 2001. 698 p.
10. Racz A., Racz T.I. Effects of the Environmental Factors on Decision Consistency // *American Journal of Civil Engineering and Architecture*. 2017. Vol. 5. Iss. 2. P. 51–56. <https://doi.org/10.12691/ajcea-5-2-4>.
11. Ross K.L. The Foundations of Value, Part 1. Logical Issues: Justification (quid facti), First Principles, and Socratic Method // *The Foundations of Value, the Friesian Trilemma*. 1998. Режим доступа: <https://friesian.com/foundatn.htm> (дата обращения: 06.09.2025).
12. Bo-Christer B. Information Technology in Construction: Domain Definition and Research Issues // *International Journal of Computer Integrated Design and Construction*. 1999. Vol. 1. Iss. 1. P. 1–16.
13. Emblemsvåg J. Lean Project Planning – Bridging Last Planner System and Earned Value Management // *Heliyon*. 2024. Vol. 10. Iss. 18. P. 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e37810>.
14. Garcia-Lopez N.P., Fischer M. Managing On-Site Production Using an Activity and Flow-Based Construction Model // *Journal of Construction Engineering and Management*. 2023. Vol. 50. Iss. 1. P. 1–34. <https://doi.org/10.1061/JCEMD4.COENG-13643>.

**REFERENCES**

1. Taylor M.C. *The Moment of Complexity: Emerging Network Culture*. Chicago: University of Chicago Press, 2003. 352 p.
2. Thomas H.R., Riley D., Sanvido V.E. Loss of Labor Productivity due to Delivery Methods and Weather. *Journal of Construction Engineering and Management*. 1991;125(1):39-46. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1999\)125:1\(39\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1999)125:1(39)).
3. Bertelsen S., Emmitt S. The Client as a Complex System. *Presented at the 13<sup>th</sup> Annual Conference in the International Group for Lean Construction*. 2005:1-10.
4. Koskela L.J., Kagioglou M. On The Metaphysics of Production. *13<sup>th</sup> International Group for Lean Construction Conference*. 2005:37-45.
5. Henrich G., Bertelsen S., Koskela L., Kraemer K., Rooke J., Owen R. Construction Physics – Understanding The Flows in a Construction Process. *15<sup>th</sup> Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. 2007:1-15.
6. Shaomin Wu, Clements-Croome D., Fairey V., Albany B., Sidhu J., Desmond D. et al. Reliability in the Whole Life Cycle of Building Systems. *Engineering, Construction and Architectural Management*. 2006;13(2):136-153. <https://doi.org/10.1108/09699980610659607>.
7. El-Haram M.A., Marenjak S., Horner M.W. Development of a Generic Framework for Collecting Whole Life Cost Data for the Building Industry. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. 2002;8(2):144-151. <https://doi.org/10.1108/13552510210430017>.
8. Bertelsen S., Koskela, L.J., Henrich G., Rooke J.A. Critical Flow – Towards a Construction Flow Theory. *14<sup>th</sup> Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. 2006:31-40.

9. Hopp W.J., Spearman M.L. *Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management*. Boston: Irwin/McGraw-Hill, 2001. 698 p.
10. Racz A., Racz T.I. Effects of the Environmental Factors on Decision Consistency. *American Journal of Civil Engineering and Architecture*. 2017;5(2):51-56. <https://doi.org/10.12691/ajcea-5-2-4>.
11. Ross K.L. The Foundations of Value, Part 1. Logical Issues: Justification (quid facti), First Principles, and Socratic Method. *The Foundations of Value, the Friesian Trilemma*. 1998. Available from: <https://friesian.com/foundatn.htm> [Accessed 6th September 2025].
12. Bo-Christer B. Information Technology in Construction: Domain Definition and Research Issues. *International Journal of Computer Integrated Design and Construction*. 1999;1(1):1-16.
13. Emblemsvåg J. Lean Project Planning – Bridging Last Planner System and Earned Value Management. *Heliyon*. 2024;10(18):1-16. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e37810>.
14. Garcia-Lopez N.P., Fischer M. Managing On-Site Production Using an Activity and Flow-Based Construction Model. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2023;50(1):1-34. <https://doi.org/10.1061/JCEMD4.COENG-13643>.

### Информация об авторах

**Покатилов Артем Григорьевич**,  
аспирант,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,  
e-mail: pokatilov.2000@mail.ru  
<https://orcid.org/0009-0007-6552-0081>

**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

**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

**Шкитин Павел Владимирович**,  
аспирант,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,  
e-mail: expertiza@istu.edu

### Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад  
в подготовку публикации.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта  
интересов.

### Information about the authors

**Artem G. Pokatilov**,  
Postgraduate Student,  
Institute of Architecture, Construction and Design,  
Irkutsk National Research Technical University,  
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,  
e-mail: pokatilov.2000@mail.ru  
<https://orcid.org/0009-0007-6552-0081>

**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

**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

**Pavel V. Shkitin**,  
Postgraduate student,  
Irkutsk National Research Technical University,  
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,  
Russia,  
e-mail: expertiza@istu.edu

### 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.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

### Информация о статье

### Information about the article

Статья поступила в редакцию 08.09.2025.  
Одобрена после рецензирования 09.10.2025.  
Принята к публикации 23.10.2025.

The article was submitted 08.09.2025.  
Approved after reviewing 09.10.2025.  
Accepted for publication 23.10.2025.



## Определение экономической эффективности жизненного цикла сооружений водоотведения

А.Ю. Сколубович<sup>1✉</sup>, А.Д. Саргсян<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), Новосибирск, Россия

**Аннотация.** В статье изложено главное положение РФ ГОСТ Р 58785-2019 «Оценка стоимости жизненного цикла для эффективной работы систем и сооружений водоснабжения и водоотведения», которое демонстрирует положительный отечественный опыт. Использование данного ГОСТа способствует положительному воздействию на процессы по проведению торгов и участию в конкурсах на выполнение работ связанных, не только с реализацией каждого этапа жизненного цикла, но и с поставкой необходимых материалов и конструкций при реализации и обслуживанию объектов водоотведения. Также, статья раскрывает и обозначает проблемные зоны использования критериев стоимости жизненного цикла, которые заключаются в недоработке инструкций и возникновении сложностей при их реализации на практике. Указанные в статье проблемы можно разрешить, разрабатывая новые и совершенствуя уже имеющиеся методики по определению стоимости жизненного цикла. В статье проанализированы критические цели и задачи, стоящие перед принятием управленческих решений на всех стадиях жизненного цикла объекта. Обозначены современные концептуальные подходы к работе с жизненным циклом объекта недвижимости. Представлены актуальные аспекты повышения эффективности управления жизненным циклом объектов капитального строительства. Дано объективное описание экономического срока жизни объекта недвижимости.

**Ключевые слова:** жизненный цикл объекта недвижимости, задачи управления недвижимостью, стратегия развития объекта недвижимости, управление недвижимостью, тактика принятий решений по управлению объектами недвижимости

**Для цитирования:** Сколубович А.Ю., Саргсян А.Д. Определение экономической эффективности жизненного цикла сооружений водоотведения // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 4. С. 734–744. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-4-734-744>. EDN: ULZXRE.

Original article

## Determination of the economic efficiency of the life cycle of wastewater disposal facilities

Alexandr Yu. Skolubovich<sup>1✉</sup>, Alik D. Sargsyan<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Novosibirsk, Russia

**Abstract.** The article outlines the main provision of the Russian Federation GOST R 58785-2019 "Life cycle cost assessment for efficient operation of water supply and sanitation systems and facilities", which demonstrates positive domestic experience. The use of this GOST contributes to a positive impact on the processes of bidding and participation in tenders for work related not only to the implementation of each stage of the life cycle, but also to the supply of necessary materials and structures for the implementation and maintenance of wastewater disposal facilities. Also, the article reveals and identifies the problem areas of using the life cycle cost criteria, which consist in the lack of instructions and difficulties in their implementation in practice. The problems mentioned in the article can be solved by developing new and improving existing methods for determining the cost of the life cycle. The article analyzes the critical goals and objectives facing managerial decision-making at all stages of the facility's life cycle. Modern conceptual approaches to working with the life cycle of a real estate object are outlined. The current aspects of

improving the efficiency of managing the life cycle of capital construction facilities are presented. An objective description of the economic life of the real estate object is given.

**Keywords:** the life cycle of a real estate object, real estate management tasks, real estate development strategy, real estate management, decision-making tactics for managing real estate objects

**For citation:** Skolubovich A.Yu., Sargsyan A.D. Determination of the economic efficiency of the life cycle of wastewater disposal facilities. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2025;15(4):734-744. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-4-734-744>. EDN: ULZXRE.

## ВВЕДЕНИЕ

Определение показателей стоимости жизненного цикла (СЖЦ) позиционируется как важный и основополагающий показатель для объектов инфраструктуры водоотведения. Данный показатель способен охватить все этапы жизненного цикла (ЖЦ) объекта: предпроектный, проектный, строительство, эксплуатация, утилизация или реставрация. Это способствует обнаружению критических ошибок на ранних стадиях реализации объекта, а также позволяет определить степень финансирования и внести необходимые корректировки или поправки в документацию. В начале 2000-х гг. в России плотно закрепилось понятие «жизненный цикл», имевшее отношение к продукции и экономике. Позже, в 2010 г. терминология была значительно расширена и имела отношение к строительной отрасли [2]. Под жизненным циклом объекта строительства понимается последовательная реализация этапов от идеи (предпроект) до завершения эксплуатации (реставрация или снос с дальнейшей утилизацией). Осмысление и понимание жизненного цикла способствует совершенствованию управления проектами, а также минимизирует финансовые издержки компаний на ранних стадиях реализации проекта и возникновения рисков технологического и технического характеров. Реализация проектов с использованием жизненного цикла позволяет определить ключевые этапы, через которые проходит

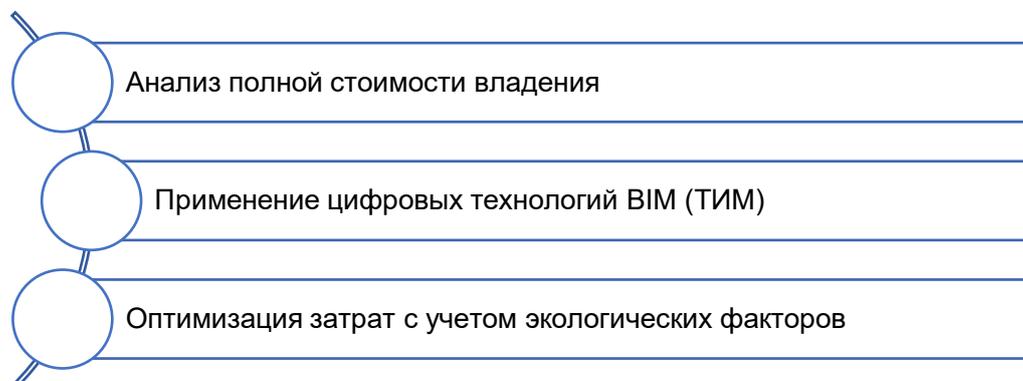
процесс создания строительного объекта. Как и сам объект строительства, содержание каждого этапа уникально и имеет свои сильные и слабые стороны, усиление которых позволит совершенствовать качество и долговечность выбранных в реализацию объектов [1].

В соответствующий этап жизненного цикла можно заложить особенности архитектурных решений, связанных с экстерьером и интерьером, применить совершенно новый строительный материал, учесть возможности климатических зон и многое другое.

Таким образом, использование в строительных проектах различных сфер взаимодействия, в частности водоотведение, и исследование жизненного цикла способствуют развитию данной сферы и области применения. Учитывая ключевые факторы, можно предотвратить большую часть непредвиденных сбоях в системе водоотведения крупных, средних и небольших городов.

## МЕТОДЫ

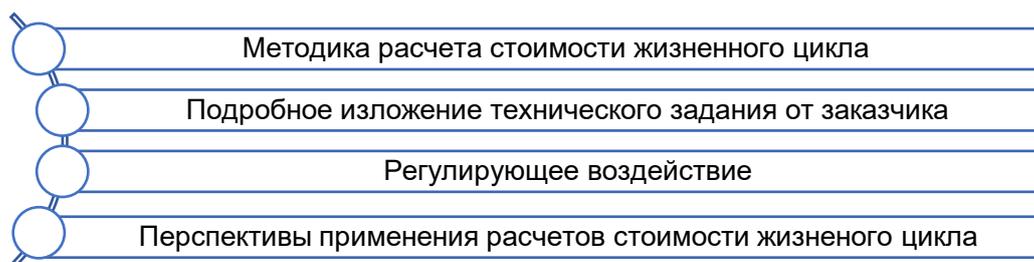
В современном мире важное значение играет экономическая эффективность от реализации строительного объекта. Основополагающей расчетной составляющей СЖЦ является ГОСТР 58785-2019 «Оценка стоимости жизненного цикла для эффективной работы систем и сооружений водоснабжения и водоотведения», в котором изложены основные принципы определения экономической эффективности СЖЦ [3, 5].



**Рис. 1. Современные методы расчета жизненного цикла**  
**Fig. 1. Modern life cycle calculation methods**

Более подробно, представленные на рис. 1 методы, можно обозначить как главные систематические механизмы, учитывающие прямые и косвенные издержки, которые непосредственно связаны с этапом эксплуатации и обслуживанием. Помимо этого, метод расчета позволяет сделать прогнозы затрат, учитывая современные экономические и политические реалии, а также составить наиболее оптимальный план управлением объектом, включающий не только территориальные особенности, но и учитывающий углеродный след от реализации объекта и его влияние на экологию территории, флору и фауну окружающей среды [4]. Поскольку сфера водоснабжения и водоотведения является уникальной, то и подход к оценке стоимости закупок и услуг тоже должен быть нестандартный, то есть необходимо более детально составлять затратную часть СЖЦ, учитывая все эксплуатационные особенности, а также вариативность конкурсов на закупки (оборудование, качество товара, производитель, материал изготовления, необходимые комплектующие для объектов водоотведения и

все необходимое для обслуживания). С оборотом такого объема материальных ценностей на различных рынках может помочь ГОСТР 58785–2019 «Оценка стоимости жизненного цикла для эффективной работы систем и сооружений водоснабжения и водоотведения» совместно с Федеральным законом № 44-ФЗ «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд». При их совместном применении можно не только оценить СЖЦ, но и предугадать некоторые финансовые риски на рынках сбыта продукции [7]. Прозрачность сделок благодаря ФЗ-44 и ГОСТР 58785–2019 подводит к проведению открытых торгов на торговых площадках и среди исполнителей на работы по каждому этапу жизненного цикла, а также поставке необходимых материалов в четком количестве и надлежащего качества. Зарубежные страны также могут участвовать в процедуре торгов материалов и выполнения требуемых работ для реализации объектов водоотведения, включая обслуживание.



**Рис. 2. Ключевые положения методики расчета стоимости жизненного цикла**  
**Fig. 2. Key provisions of the methodology for calculating the cost of the life cycle**

Далее будет подробно рассмотрен каждый из предложенных на рис. 2 пунктов, что позволит представить картину СЖЦ более четкой и детальной [9].

**Методика расчета стоимости жизненного цикла**

Расчет представляется комплексно с учетом особенностей объектов водоотведения, их технических характеристик и материальных составляющих.

В табл. 1 представлены ключевые зависимости СЖЦ, учитывающее издержки на оборудование систем и сооружений водоотведения и все необходимые реагенты.

Схематично это можно представить как логическую последовательность, состоящую из четырех этапов (рис. 3).

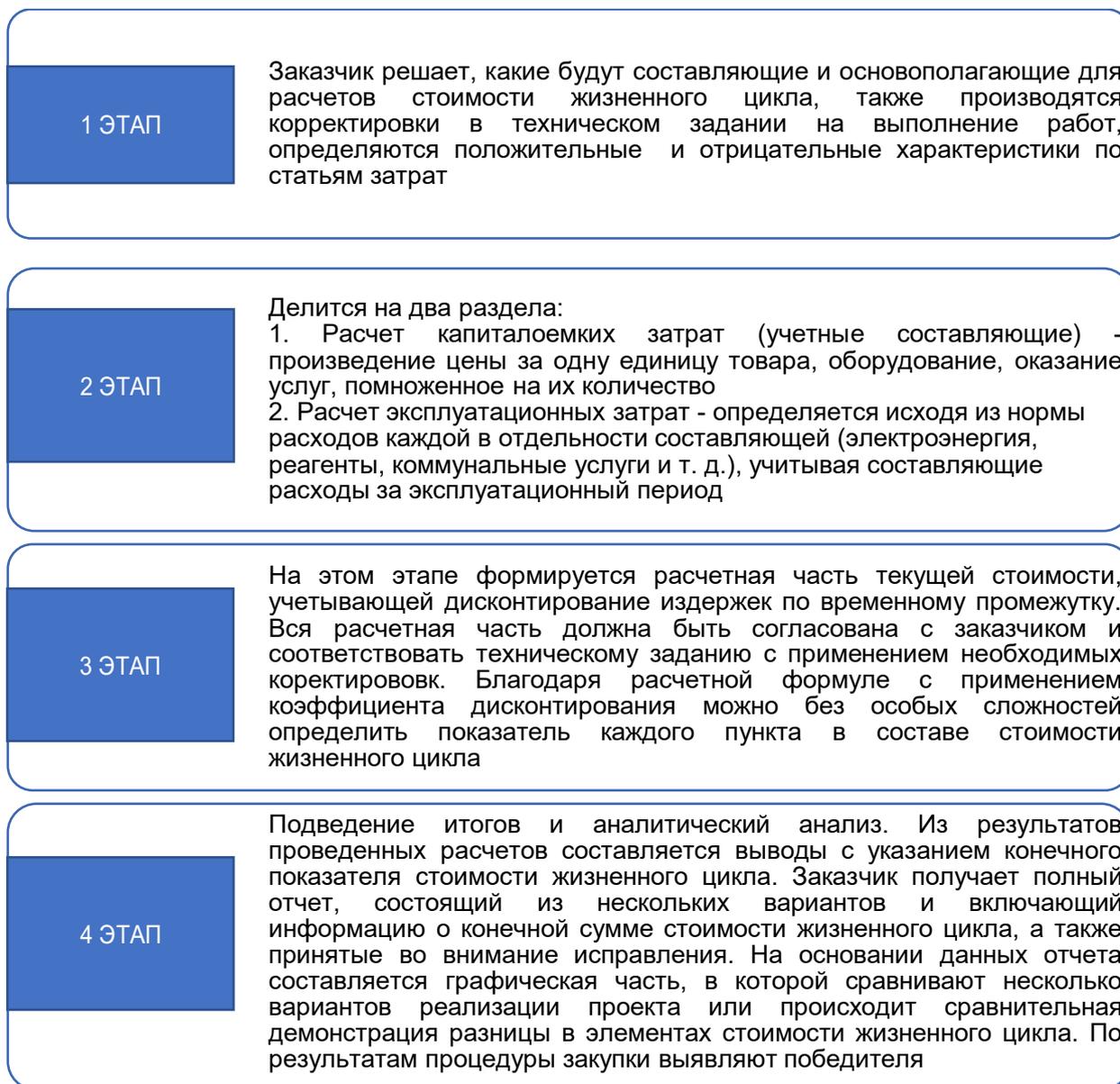
Исходя из полученной информации о выполнении ключевых этапов СЖЦ, можно с уверенностью предположить пример расчетной стоимости и рабочие формулы для разработки

и учета всех необходимых факторов затратных и тарифных статей. Для полноценной картины и удобства восприятия расчетные формулы в более подробном описании изложены в табл. 1.

Приняты следующие условные обозначения: СЖЦ – стоимость жизненного цикла,  $C_{end}$  – затраты, связанные с окончанием расчетов СЖЦ, ЭКСПЛУАТ – затраты по статьям эксплуатации объекта, КАПИТАЛ – затраты по статьям капитального обслуживания объекта,  $C_{el}$  – тариф электроэнергии,  $C_{ob}$  – тариф на обслуживание с учетом работы обслуживающего персонала,  $C_{rem}$  – затраты на проведение ремонтных работ (обслуживание) с учетом постоянных затрат на топливно-энергетическое сырье (материалы и реагенты),  $C_{nep}$  – тариф на непредвиденные расходы, простои и дефектный продукт,  $C_{eko}$  – тариф на экологические статьи и ликвидацию их,  $C_{зс}$  – общие единовременные затраты на приобретение земельного

участка и подключение его к сети (водоснабжение и водоотведение, электроэнергия, тепло-снабжение и т. д.),  $C_{np}$  – капитальные затраты на проведение предпроектных, проектных, научно-исследовательских, технических и технологических изысканий, а также на разработку конструкций и нормативно-технической документации,  $C_{ks}$  – предполагаемая капитальная стоимость (оборудование, строительно-

монтажные работы, проектирование технологических систем),  $C_{prz}$  – затраты на подготовку и переподготовку кадров, с учетом СМР,  $C_t$  – отдельная статья затрат по уровню текущих цен,  $C_{oz}$  – отдельные статьи затрат в соответствии с учетом определенного периода времени,  $Rd$  – ставка дисконтирования,  $rd$  – ставка дисконта,  $ib$  – банковская ставка процента,  $ig$  – темп инфляции (год),  $n$  – период расчетов.



**Рис. 3. Ключевые этапы определения стоимости жизненного цикла [10]**

**Fig. 3. The key stages of determining the cost of the life cycle [10]**

Подробное описание технического задания (ТЗ), в соответствии с ГОСТ Р 58785–2019

В основе реализации любого ТЗ, в том числе объектов водоотведения, находится ка-

чественное выполнение расчетов и соблюдение условий в соответствии с требованиями заказчика.

Техническое задание от заказчика может содержать следующие данные [8] (рис. 4):

- работа, в соответствии со сметными нормативами и актуальными практиками, связанная с оценкой проектной, нормативно-технической и рабочей документации;
- нормативно-техническая документация по работам и выплатам, связанным с оценкой трудозатрат;
- установление тарифной ставки на сырьевые, топливные и энергоресурсы
- расчетный диапазон временного периода  $n$  (учитывающий специфические нормативные требования, связанные с амортизацией, сроком эксплуатационной службы оборудования, самокупаемостью, количеством и особенностями хранения необходимых реагентов, что позволяет сформировать некоторое количество вариантов для заказчика, с целью предоставления выбора);
- дополнительная информация об объекте водоотведения, которая необходима для проведения СЖЦ (сведения проектные, конструктивные, а также технические и технологические решения);
- определение оценочной цели и составление списка затратных статей;
- предыдущий опыт заказчика, связанный с аналогичным объектом (нормативно-техническая документация, сметные расчеты, услуги и т. д.);
- дополнительная информация, необходимая инвесторам для определения капитальных и эксплуатационных затрат.

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Расчеты СЖЦ чаще всего (в том числе для проектов государственного сектора, а также

муниципальных образований) происходит по упрощенной системе, то есть без учета показателей инфляции и дисконта (постоянные цены).

Техническое задание от заказчика должно обязательно предусматривать дополнительные источники финансирования и дополнительные статьи расходов. Следует включать налоги, гранты, субсидии и т. д. Их учет, как и ведение перечисленных статей, необходимо проводить заказчику в соответствии с пунктами ТЗ проекта. В свою очередь, участники по конкурсу обязаны придерживаться всех пунктов процедуры по расчетам формированию цен, затратных статей, контролю стоимостных групп и т. д. Некоторые формы (например, коммерческие, лизинг, энергосервис) взаимоотношений способны демонстрировать интересные результаты при участии в конкурсных торгах. Они способны стать серьезным подспорьем даже для крупных фирм в расчетной части СЖЦ. В этом случае стоит отходить от традиционных договорных отношений и применять более нестандартные, например, контракты жизненного цикла (КЖЦ) [4, 11]. При использовании КЖЦ более подробно можно изложить затратные статьи заказчика, а также учесть изменения в стоимостной группе и спрогнозировать ценовые значения.

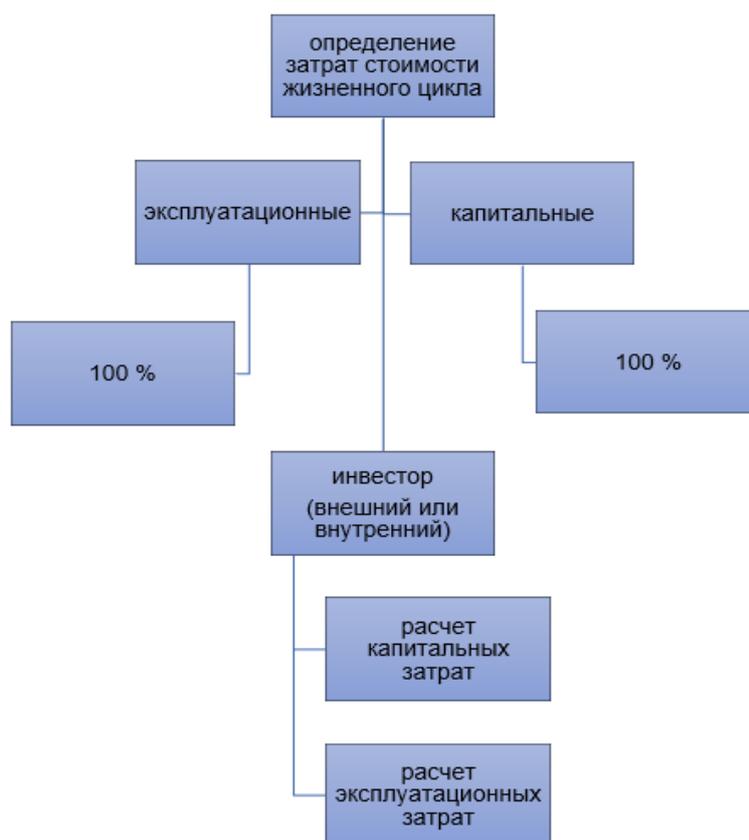
*Практическое применение и результаты расчетов СЖЦ*

В табл. 2 представлены ключевые исходные данные, установленные в ТЗ (включая затратные статьи и расчетные величины) и результаты оценки СЖЦ [2, 12, 13].

**Таблица 1.** Расчетная зависимость стоимости жизненного цикла объектов водоотведения с учетом необходимого оборудования

**Table 1.** Calculated dependence of the LCF of wastewater disposal facilities, taking into account the necessary equipment

№	Наименование	Расчетная зависимость
1	Состав и элементы	$СЖЦ = C_d + \sum_{t1}^n ЭКСПЛУАТ + \sum_{t2}^n КАПИТАЛ$ <p>В ином виде можно представить, как:</p> $СЖЦ = C_{end} + (C_{el} + C_{ob} + C_{rem} + C_{nep} + C_{eko}) + (C_{3c} + C_{np} + C_{ks} + C_{prz})$
2	Текущая стоимость (+дисконтирование по периоду)	$C_t = \frac{C_{oz}}{(1 + rd)^n}$ <p>Если <math>Rd = \frac{1}{(1+rd)^n}</math>; <math>r = (ib - ig)</math></p>
3	Итоговое уравнение	$СЖЦ = C_{end} + \sum_{t1}^n \frac{ЭКСПЛУАТ(C_{el} + C_{ob} + C_{rem} + C_{nep} + C_{eko})}{(1 + rd)^n} + \sum_{t2}^n \frac{КАПИТАЛ(C_{3c} + C_{np} + C_{ks} + C_{prz})}{(1 + rd)^n}$



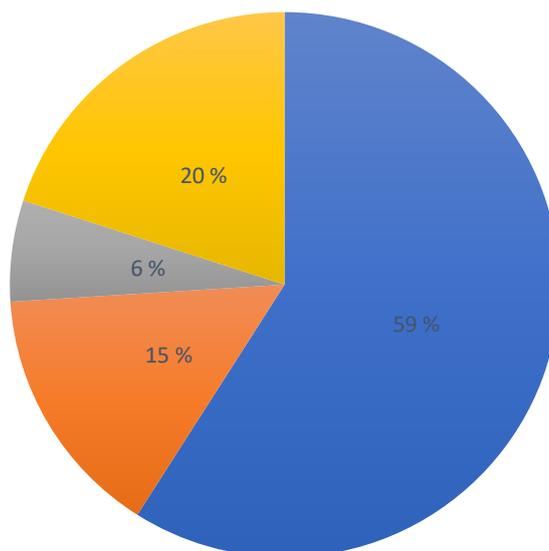
**Рис. 4. Определение инвестора для расчета капитальных и эксплуатационных затрат [8]**  
**Fig. 4. Definition of an investor for calculating capital and operating costs [8]**

**Таблица 2.** Расчет стоимости жизненного цикла (значения с учетом дисконта) вариантов энергоэффективного (2 вариант) и неэнергоэффективного (1 вариант) оборудования  
**Table 2.** Calculation of the life cycle cost (discount values) of energy-efficient (option 2) and energy-efficient (option 1) equipment options

Годы	Поставщик	
	1 вариант	2 вариант
1	2877,91	1438,96
2	2677,71	1338,86
3	2491,44	1245,72
4	2318,12	1159,06
5	2156,86	1078,43
6	2006,82	1003,41
7	1867,21	933,61
8	1737,32	868,66
9	1616,46	808,23
10	1504,01	752,01
СЖЦ ИТОГ	21253,85	10626,93

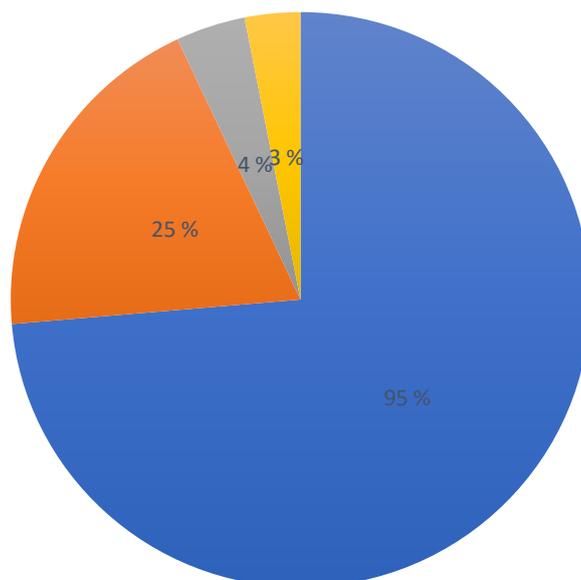
Данные таблицы были взяты из бухгалтерской отчетности организаций-поставщиков г. Новосибирска и ранжировались по степени загрязнения окружающей среды. Одной из ключевых затратных статей является показатель  $C_{eko}$ . Именно этот показатель способен в полной мере отразить такие важные показатели, как жизнеобеспеченность населенных

пунктов, учет ущерба от этапов жизненного цикла строительства и эксплуатации, возможные варианты загрязнения окружающей среды и пагубное влияния жизнедеятельности человека, способные катастрофически навредить экосистеме. Результаты, представленные на рис. 5 и 6, наглядно демонстрируют сравнительные данные по двум вариантам оборудования.



■ Энергоэффективность ■ Ремонт/Обслуживание ■ Эксплуатация ■ Реализация на рынке

**Рис. 5. Энергоэффективное оборудование (стоимость жизненного цикла = 100 % финансирования) [1]**  
**Fig. 5. Energy-efficient equipment (life cycle cost =100% financing) [1]**



■ Энергоэффективность ■ Ремонт/Обслуживание ■ Эксплуатация ■ Реализация на рынке

**Рис. 6. Неэнергоэффективное оборудование (стоимость жизненного цикла = 129 % финансирования) [1]**  
**Fig. 6. Energy efficient equipment (life cycle cost =129% of financing) [1]**

Более эффективную реализацию на рынке сбыта демонстрирует энергоэффективное оборудование, в свою очередь неэнергоэффективное оборудование демонстрирует обратную сторону. Возможно, в будущем, оборудование, считающееся энергоэффективным в

настоящее время, будет считаться не-энергоэффективным.

#### Перспективы СЖЦ

Помимо процедур, связанных с конкурсами и грантами, стоимость жизненного цикла объектов водоотведения способствует разви-

тию технического и экономического потенциала. Поддержка и развитие осуществляется за счет внедрения в работу нововведений, исходя из результатов диссертационных и научно-исследовательских работ.

Важными перспективами развития являются внедряемые в работу систем водоотведения нормативные и нормативно-правовые документы.

Одним из таких является изменение № 1 к СП 517.1325800.2022 «Эксплуатация централизованных систем, сооружений водоснабжения и водоотведения», утвержденное приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 30 июля 2025 г. №455/пр.

Особый интерес вызывают научно-исследовательские работы, основанные на оценке оптимизации технического и научно-технического развития по следующим показателям:

1. Экологические показатели. Связанные с эксплуатационными показателями, влияющими на окружающую среду и экосистему, в связи с процессом жизненного цикла объекта водоотведения.

2. Экономические показатели. Показатели для промышленных предприятий и замкнутых циклов систем водоотведения.

3. Управление жизненным циклом. Применение цифровых технологий (ТИМ) для более прозрачной и точной работы над проектами, учитывающими ошибки и недочеты на ранних стадиях реализации проекта.

4. Жилой сектор. Объекты водоотведения являются ключевыми для жизнеобеспечения любых городов.

#### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Проведенная в статье методика расчета, основанная на стоимости жизненного цикла объектов водоотведения, способствует к совершенствованию формирования новых математических моделей технического и экономического расчетных периодов, а также способствует развитию интеллектуального моделирования с учетом современных технико-экономических расчетных частей, процессов по снижению трудозатрат и повышению оперативности действий [4, 14].

В главной перспективе развития стоимости жизненного цикла стоит международное сотрудничество.

Данное сотрудничество позволит усовершенствовать современную систему с применением международного опыта, усилит цифровизацию, применяемую в современных технических и экономических основах.

Технико-экономическое развитие способствует развитию систем и объектов водоотведения. В основе находится детальный анализ расчетной части стоимости жизненного цикла. Совершенствование методики математического моделирования создаст более совершенный и прозрачный механизм реализации инструментов водоотведения, связанный с нормами, законами, сметной документацией и т. д.

#### **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., Скибо Д.В. Обоснование эффективности устройства аварийно-регулирующих резервуаров при канализационных насосных станциях // Водоснабжение и санитарная техника. 2023. № 6. С. 48–55. <https://doi.org/10.35776/VST.2023.06.07>. EDN: HSHDHN.
3. 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.
4. Евдокименко А.С., Евдокименко М.В., Шерстяков А.А., Сколубович А.Ю. Анализ рынка жилой недвижимости в Сибирском федеральном округе // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Экономика и право. 2024. № 2. С. 31–38. <https://doi.org/10.37882/2223-2974.2024.02.07>. EDN: CQPHSY.
5. Саргсян А.Д., Сколубович А.Ю. Развитие зеленой экономики в современных экономических условиях // Журнал монетарной экономики и менеджмента. 2024. № 4. С. 81–87. <https://doi.org/10.26118/2782-4586.2024.88.64.012>. EDN: NQKUZS.
6. Сколубович А.Ю., Матвеева М.В. Разработка методики оценки готовности предприятий к государственно-частному партнерству в сфере коммунального водоснабжения // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2019. Т. 9. № 2. С. 274–283. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-2-274-283>. EDN: PGGCJX.

7. Сколубович А.Ю., Саргсян А.Д. Перспективная форма партнерских отношений: контракты жизненного цикла // Журнал монетарной экономики и менеджмента. 2025. № 4. С. 370–374. <https://doi.org/10.26118/2782-4586.2025.23.99.052>. EDN: AMDVCE.
8. Сколубович А.Ю., Кармалов А.И. О техническом состоянии канализационного хозяйства крупного города // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2024. № 10. С. 124–132. <https://doi.org/10.32683/0536-1052-2024-790-10-124-132>. EDN: CFDSLТ.
9. Skolubovich Yu., Skolubovich A., Voitov E., Soppa M., Chirkunov Yu. Cleaning Natural Water in the Clarifier Reactor // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2017. Vol. 90. P. 1–6. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/90/1/012107>.
10. Бобылев С.Н., Михайлова С.Н., Кирюшин П.А., Яковлева Е.Ю., Солодова М.А., Соловьева С.В. и др. Зеленая экономика и цели устойчивого развития для России. М.: Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 2019. 284 с. EDN: UJDZTG.
11. Сколубович А.Ю., Матвеева М.В. К вопросу государственно-частного партнерства в сфере коммунального водоснабжения // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2018. Т. 8. № 3. С. 45–53. EDN: YLSWFF.
12. Евдокименко А.С., Евдокименко М.В., Шерстяков А.А., Сколубович А.Ю. Анализ рынка жилой недвижимости в Сибирском федеральном округе // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: экономика и право. 2024. № 2. С. 31–38. <https://doi.org/10.37882/2223-2974.2024.02.07>. EDN: CQPHSY.
13. Сколубович А.Ю. Оценка социально-экономической эффективности в городском хозяйстве // Актуальные вопросы архитектуры и строительства. Материалы XIII Международной научно-технической конференции (г. Новосибирск, 22–24 сентября 2020 г.). Новосибирск, 2020. С. 327–331. EDN: YQJOXA.
14. Сколубович А.Ю. Мероприятия по совершенствованию механизма ценообразования на предприятиях жилищно-коммунального хозяйства // Актуальные вопросы архитектуры и строительства. Материалы XIII Международной научно-технической конференции (г. Новосибирск, 22–24 сентября 2020 г.). Новосибирск, 2020. С. 316–321. EDN: WIHEZU.

**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., Skibo D.V. Substantiation of the Efficiency of Installing Emergency Storage Tanks at Wastewater Pumping Stations. *Water Supply and Sanitary Technique*. 2023;6:48-55. (In Russ.). <https://doi.org/10.35776/VST.2023.06.07>. EDN: HSHDHN.
3. Chupin V.R., Abrosimova I.A. Justification of the Life Cycle Cost Parameters for the Construction and Operation of Water Supply Systems. In: *Aktualnye voprosy stroitel'stva: vzglyad v budushchee. Materialy III Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = 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.
4. Evdokimenko A.S., Evdokimenko M.V., Sherstyakov A.A., Skolubovich A.Y. Analysis of the Residential Real Estate Market in the Siberian Federal District. *Modern Science: Actual Problems of Theory and Practice. A Series of Economics and Law*. 2024;2:31-38. (In Russ.). <https://doi.org/10.37882/2223-2974.2024.02.07>. EDN: CQPHSY.
5. Sargsyan A.D., Skolubovich A.Yu. Development of the Green Economy in Modern Economic Conditions. *Journal of Monetary Economics and Management*. 2024;4:81-87. (In Russ.). <https://doi.org/10.26118/2782-4586.2024.88.64.012>. EDN: NQKUZS.
6. Skolubovich A.Yu., Matveeva M.V. Development of a Methodology for Assessing the Readiness of Enterprises for Public-Private Partnership in the Field Of Public Water Supply. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2019;9(2):274-283. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-2-274-283>. EDN: PGGCJX.
7. Skolubovich A.Yu., Sargsyan A.D. A Promising Form of Partnership: Life Cycle Contracts. *Journal of Monetary Economics and Management*. 2025;4:370-374. (In Russ.). <https://doi.org/10.26118/2782-4586.2025.23.99.052>. EDN: AMDVCE.
8. Skolubovich A.Yu., Karmalov A.I. About The Technical Condition of the Sewage System of a Large City. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2024;10:124-132. (In Russ.). <https://doi.org/10.32683/0536-1052-2024-790-10-124-132>. EDN: CFDSLТ.
9. Skolubovich Yu., Skolubovich A., Voitov E., Soppa M., Chirkunov Yu. Cleaning Natural Water in the Clarifier Reactor. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2017;90:1-6. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/90/1/012107>.

10. Bobylev S.N., Mikhailova S.N., Kiryushin P.A., Yakovleva E.Yu., Solodova M.A., Soloveva S.V. et al. *Green Economy and Sustainable Development Goals for Russia*. Moscow: Lomonosov Moscow State University, 2019. 284 p. (In Russ.). EDN: UJDZTG.
11. Skolubovich A.Yu., Matveeva M.V. On The Question of Public-Private Partnerships in the Field of Municipal Water Supply. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2018;8(3):45-53. (In Russ.). EDN: YLSWFF.
12. Evdokimenko A.S., Evdokimenko M.V., Sherstyakov A.A., Skolubovich A.Yu. Analysis of the Residential Real Estate Market in the Siberian Federal District. *Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki. Seriya: ehkonomika i pravo*. 2024;2:31-38. (In Russ.). <https://doi.org/10.37882/2223-2974.2024.02.07>. EDN: CQPHSY.
13. Skolubovich A.Yu. Assessment of Socio-Economic Efficiency in Urban Economy. In: *Aktualnye voprosy arkhitektury i stroitelstva. Materialy XIII Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii = Current Issues in Architecture and Construction. Proceedings of the XIII International Scientific and Technical Conference*. 22–24 September 2020, Novosibirsk. Novosibirsk; 2020. P. 327–331. (In Russ.). EDN: YQJOXA.
14. Skolubovich A.Yu. Measures to Improve the Pricing Mechanism in Housing and Communal Services Enterprises. In: *Aktualnye voprosy arkhitektury i stroitelstva. Materialy XIII Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii = Current Issues in Architecture and Construction. Proceedings of the XIII International Scientific and Technical Conference*. 22–24 September 2020, Novosibirsk. Novosibirsk; 2020. P. 316–321. (In Russ.). EDN: WIHEZU.

### Информация об авторах

#### Сколубович Александр Юрьевич,

к.э.н., доцент кафедры экономики, управления, социологии и педагогики, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), 630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113, Россия,  
✉e-mail: SkolubovichS@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-6695-6521>  
Author ID: 888760

#### Саргсян Алика Давидовна,

специалист по учебно-методической работе института безотрывных форм обучения, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), 630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113, Россия,  
e-mail: a.sargsyan@sibstrin.ru  
<https://orcid.org/0009-0004-7295-2235>  
Author ID: 1305730

### 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.

### Information about the authors

#### Alexandr Yu. Skolubovich,

Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor of the Department of Economics, Management, Sociology and Pedagogy, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (SIBSTRIN), 113 Leningradskaya St., Novosibirsk 630008, Russia,  
✉e-mail: SkolubovichS@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-6695-6521>  
Author ID: 888760

#### Alika D. Sargsyan,

Specialist in educational and methodological work at the Institute of Continuous Forms of Education, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (SIBSTRIN), 113 Leningradskaya St., Novosibirsk 630008, Russia,  
e-mail: a.sargsyan@sibstrin.ru  
<https://orcid.org/0009-0004-7295-2235>  
Author ID: 1305730

### 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.

**Информация о статье**

Статья поступила в редакцию 18.07.2025.  
Одобрена после рецензирования 20.08.2025.  
Принята к публикации 02.09.2025.

**Information about the article**

The article was submitted 18.07.2025.  
Approved after reviewing 20.08.2025.  
Accepted for publication 02.09.2025.



## Интегральная оценка конструкций инженерной защиты транспортных сооружений от гидродинамических воздействий морских волн

Г.В. Тлявлина<sup>1,2</sup>✉

<sup>1</sup>Центральный научно-исследовательский институт транспортного строительства (ЦНИИТС), Обособленное подразделение «НИЦ “Морские берега”», Сочи, Россия

<sup>2</sup>Российский университет транспорта (МИИТ), Москва, Россия

**Аннотация.** При принятии решений по размещению планов трассы автомобильных и железных дорог, расположению мостовых переходов и других объектов транспортной инфраструктуры важно заранее оценить размеры капитальных вложений. Значительную часть затрат занимает обеспечение инженерной защиты. В настоящей работе предложена методика интегральной оценки необходимости возведения и выбора защитных конструкций транспортных сооружений от гидродинамических воздействий морских волн. Описан алгоритм определения степени необходимости инженерной защиты транспортных сооружений и их инфраструктуры на основе анализа и экспертной оценки состояния берега, объектов и процессов в береговой зоне морей. Учет влияния объектов и процессов в береговой зоне при выборе типа конструкций инженерной защиты от гидродинамических воздействий естественной водной среды предлагается определять путем количественной интегральной оценки. Приводится предварительная укрупненная оценка стоимости мероприятий по инженерной защите в зависимости от степени необходимости защиты, которая, в свою очередь, численно выражена степенью необходимости возведения и выбора типа конструкций инженерной защиты. Результаты исследования могут быть использованы для оценки риска аварии (путем определения коэффициента опасности по показателю, учитывающему возможные последствия и величину материального ущерба вследствие аварии), а также для определения укрупненных экономических показателей стоимости строительства.

**Ключевые слова:** берегозащита, буна, волноотбойная стена, защитная волногасящая полоса, размыв, транспортные сооружения

**Для цитирования:** Тлявлина Г.В. Интегральная оценка конструкций инженерной защиты транспортных сооружений от гидродинамических воздействий морских волн // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 4. С. 745–755. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-4-745-755>. EDN: UTEJLD.

### Original article

## Integral assessment of engineering protection structures of transport structures from hydrodynamic effects of sea waves

Galina V. Tlyavlina<sup>1,2</sup>✉

<sup>1</sup>Central research institute of Transport Construction, R&D Centre “Morskije berega”, Sochi, Russia

<sup>2</sup>Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia

**Abstract.** When making decisions on the placement of road and railway route plans, the location of bridge crossings and other transport infrastructure facilities, it is important to assess the size of capital investments. A significant part of the cost is the provision of engineering protection. In this paper, a method is proposed for the integral assessment of the need for the construction and selection of protective structures of transport facilities from the hydrodynamic effects of sea waves. An algorithm is described for determining the degree of need for engineering protection of transport facilities and their infrastructure based on an analysis and expert assessment of the state of the coast, facilities and processes in the

coastal zone of the seas. Consideration of the influence of objects and processes in the coastal zone when choosing the type of engineering protection structures from the hydrodynamic effects of the natural aquatic environment is proposed to be determined by quantitative integral assessment. A preliminary consolidated estimate of the cost of engineering protection measures is given, depending on the degree of need for protection, which, in turn, is numerically expressed by the degree of need for the construction and selection of the type of engineering protection structures. The results of the study can be used to assess the risk of an accident (by determining the hazard coefficient based on an indicator that takes into account the possible consequences and the amount of material damage caused by the accident), as well as to determine the aggregated economic indicators of the construction cost.

**Keywords:** coastal protection, buna, breakwater wall, protective wave-extinguishing strip, washout, transport facilities

**For citation:** Tlyavlina G.V. Integral assessment of engineering protection structures of transport structures from hydrodynamic effects of sea waves. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2025;15(4):745-755. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-4-745-755>. EDN: UTEJLD.

## ВВЕДЕНИЕ

На стадии выбора вариантов размещения трассы автомобильных и железных дорог, а также при принятии принципиальных решений по локализации объектов транспорта (например, мостов) и их инфраструктуры, выполняются расчеты экономической эффективности капитальных вложений [1, 2]. Вблизи побережий гидродинамическое воздействие естественной водной среды может создавать угрозу безопасной эксплуатации дорог и мостов [3–6]. На таких участках, как правило, требуется возведение дополнительных конструкций инженерной защиты от размыва.

Следовательно, при вариантной проработке требуется оценка необходимости возведения и выбора типа конструкций инженерной защиты транспортных сооружений для выбора земельных участков с учетом инвестиционной привлекательности. В настоящей работе предложен метод интегральной оценки необходимости возведения и выбора типа конструкций инженерной защиты транспортных сооружений от гидродинамических воздействий естественной водной среды для учета экономических показателей стоимости строительства.

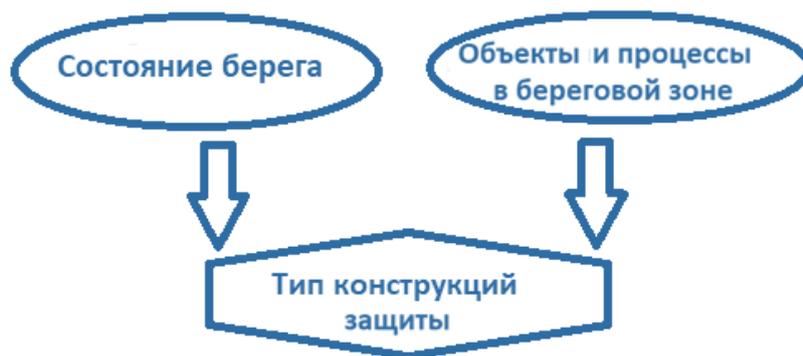
## МЕТОДЫ

Работа выполнена аналитическим методом путем экспертной оценки возможности применения вариантов конструкций инженерной защиты транспортных сооружений в береговой зоне морей. Использованы материалы проектных проработок и сметных расчетов по объектам инженерной защиты Северо-Кавказской, Дальневосточной и Восточно-Сибирской железных дорог, выполненные автором [1, 7, 8].

Применительно к транспортным сооружениям необходимость возведения конструкций инженерной защиты от гидродинамических воздействий естественной водной среды возникает при расположении таких сооружений в береговой зоне если в ней наблюдаются либо прогнозируются опасные природные процессы (размывы, переработка берегов, затопление и т. п.) (рис. 1). Степень необходимости возведения и выбор типа конструкций инженерной защиты транспортных сооружений от гидродинамических воздействий естественной водной среды определяется типом и состоянием берега, а также наличием объектов и процессов в береговой зоне [7, 9, 10, 11] (рис. 2).



**Рис. 1. Схема оценки необходимости защиты транспортных сооружений от гидродинамических воздействий естественной водной среды**  
**Fig. 1. Scheme for assessing the need to protect transport facilities from hydrodynamic effects of the natural aquatic environment**



**Рис. 2. Схема выбора типа защиты транспортных сооружений от гидродинамических воздействий естественной водной среды**

**Fig. 2. Scheme for selecting the type of protection for transport facilities from hydrodynamic effects of the natural aquatic environment**

Кроме того, следует учитывать наличие потока наносов, комплексную работу и взаимное влияние отдельных конструкций [12–15]. Так, например, не допускается строительство волноотбойных стен без волногасящих сооружений перед ними, не допускается строительство бун без отсыпки волногасящей полосы и т. п [7, 9]. За основу предлагаемой количественной интегральной оценки степени необходимости возведения и выбора типа конструкций инженерной защиты транспортных сооружений от гидродинамических воздействий естественной водной среды принят подход получения нормирующих коэффициентов, характеризующий долю от наиболее неблагоприятной ситуации,

принимаемой за единицу. Аналогичный подход используется для оценки риска аварий на гидротехнических сооружениях, а также в гидротехнике и смежных областях в целом [16–19].

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Состояние берега характеризуется размывами. С точки зрения необходимости возведения и выбора вариантов конструкций инженерной защиты от гидродинамических воздействий естественной водной среды состояние берега предлагается оценивать в соответствии с табл. 1.

Количественно состояние берега оценивается коэффициентом состояния берега  $K_B$ , принимаемом согласно табл. 1.

**Таблица 1. Оценка состояния берега**  
**Table 1. Assessment of the shore condition**

Категория	Код	Признаки	$K_B$
Нормальная	0	Берег устойчив, размывы отсутствуют	0
Предельно допустимая	1	Периодические (сезонные) размывы	0,9
Предаварийная (потенциально опасная)	2	Берег размывается. Размывы, в том числе низовые, на подводном склоне ограничены глубинами в прибойной зоне	0,95
Аварийная	3	Угрожающий размыв берега. Размывы подводного склона распространяются мористее прибойной зоны	1

На участках нормальной категории, где берег устойчив и размывы отсутствуют (т. е. при  $K_B=0$ ), необходимость защиты возведения и выбора типа конструкций инженерной защиты транспортных сооружений от гидродинамических воздействий естественной водной среды также отсутствует (т. е. равна нулю).

Учет влияния объектов и процессов в береговой зоне при выборе типа конструкций инженерной защиты транспортных сооружений от

гидродинамических воздействий естественной водной среды предлагается определять путем количественной интегральной оценки по следующим признакам:

1. Для оценки необходимости создания защитной волногасящей полосы в виде пляжа определяющим является назначение земельного участка и фактическое наличие пляжа. Так как береговая зона морей вблизи транспортных сооружений практически во всех случаях

используется в рекреационных целях (например, Черное и Азовское моря), действующие нормативные документы не допускают игнорирование этого фактора. Кроме того, пляжи являются наилучшими волногасящими сооружениями, максимально приближенными к природным. Поэтому, при выборе метода инженерной защиты, преимущество отдается созданию волногасящей полосы в виде пляжа, исходя из условия рекреационного использования берега [20]. Также учитывается наличие потока наносов. От данного параметра зависят технические решения по созданию волногасящей полосы [21, 22], параметры пляжеудерживающих бун и/или возможности строительства волноломов [23] (табл. 2).

2. Для оценки необходимости строительства волноотбойных стен и откосных береговых укреплений анализируются склоновые процессы в береговой зоне [8]. В зависимости от наличия оползневых процессов на склоне возможно потребуются строительство подпорно-волноотбойных стен либо откосных береговых укреплений (табл. 3).

3. Необходимость возведения волногасящих бERM и прикритий из камня или фасонных массивов определяется наличием (планируемым строительством) опор мостов и стен на участке [24, 25]. Также оценивается наличие рекреации ввиду того, что имеются ограничения по применению некоторых типов защитных конструкций в рекреационных зонах (табл. 4).

**Таблица 2.** Защитная волногасящая полоса в виде пляжа  
**Table 2.** Protective breakwater in the form of a beach

Условия	Код $q_i$	Технические решения
Берег не используется в рекреационных целях. Либо на участке имеется волногасящая полоса шириной, обеспечивающей достаточное волногашение	0	Не требуется
Берег рекреационный. Волногасящая полоса необходимой ширины отсутствует, но возможно создание свободного пляжа	1	Отсыпка материала с периодическими пополнениями
Берег рекреационный. Существование свободной волногасящей полосы невозможно. Поток наносов восполняет потери материала на истирание и вдольбереговой перенос более 60 %	2	Отсыпка материала и строительство волноломов и/или бун для его удержания
Берег рекреационный. Существование свободной волногасящей полосы невозможно. Поток наносов отсутствует либо восполняет потери материала на истирание и вдольбереговой перенос не более 60 %	3	Отсыпка материала и строительство бун для его удержания

**Таблица 3.** Волноотбойные стены и откосные береговые укрепления  
**Table 3.** Sea walls and slope coastal protection structures

Условия	Код $q_i$	Технические решения
Склоновые процессы не прогнозируются	0	Не требуется
Возможно развитие склоновых процессов; угол берегового откоса не превышает угол естественного откоса грунта, слагающего склон; высота расчетной волны до 4 м	1	Гибкие бетонные покрытия
Возможно развитие склоновых процессов; угол берегового откоса не превышает угол естественного откоса грунта, слагающего склон	2	Откосно-ступенчатые стены
Наблюдаются оползневые процессы либо сооружение врезается в откос (требуется строительство подпорных стен), крутые склоны (угол берегового откоса превышает угол естественного откоса грунта, слагающего склон)	3	Подпорно-волноотбойные стены

**Таблица 4.** Волногасящие бермы и прикрытия из камня или фасонных массивов  
**Table 4.** Wave-absorbing berms and coverings made of stone or artificial armor

Условия	Код $q_i$	Технические решения
На участке имеется волногасящая полоса достаточной ширины либо планируется ее создание	0	Не требуется
Имеются опоры мостов либо планируется их строительство	1	Защитные волногасящие наброски из камня либо фасонных массивов у опор для их защиты
Волногасящая полоса отсутствует или недостаточной ширины и участок не используется в рекреационных целях	2	Волногасящие бермы; наброски из камня либо фасонных массивов
Волногасящая полоса отсутствует или недостаточной ширины и участок используется в рекреационных целях	3	Волногасящие бермы; наброски из камня либо фасонных массивов при условии создания пляжа перед ними

Интегральная оценка необходимости возведения и типа конструкций инженерной защиты транспортных сооружений от гидродинамических воздействий естественной водной среды характеризуется коэффициентом  $Z$ , который представляет собой долю от наиболее неблагоприятных условий. При наиболее неблагоприятном сочетании условий коэффициент  $Z$  будет равен 1. В остальных случаях  $0 \leq Z < 1$ . Численные значения  $Z$  получаются в зависимости от интегрального кода берегозащитных конструкций с учетом коэффициента их весомости  $\beta$ :

$$Z = \sum_{i=1}^3 \beta_i \times q_i \times z_0 \quad (1)$$

где  $\beta_i$  – коэффициент весомости  $i$ -го типа защитных конструкций;  $q_i$  – значение кода типа защитной конструкции;  $z_0$  – нормирующий множитель.

Значения коэффициента весомости  $\beta$  определены в зависимости от стоимости строительства различных вариантов конструкций [1, 7] и представлены в табл. 5.

В табл. 6 приведены расчетные значения коэффициентов защитных конструкций  $Z$ .

**Таблица 5.** Значения коэффициента весомости  $\beta$  типов защитных конструкций  
**Table 5.** Values of the weighting coefficient  $\beta$  for types of protective structures

Типы защитных конструкций	Коэффициент весомости $\beta$
Волногасящий пляж	0,58
Волноотбойные стены и откосные береговые укрепления	0,24
Волногасящие бермы и прикрытия из камня или фасонных массивов	0,18

**Таблица 6.** Значения коэффициентов защитных конструкций  $Z$   
**Table 6.** Values of protective structures  $Z$  coefficients

код	$Z$	код	$Z$	код	$Z$	код	$Z$
0 0 0	0,0000	1 0 0	0,1933	2 0 0	0,3867	3 0 0	0,5800
0 0 1	0,0600	1 0 1	0,2533	2 0 1	0,4467	3 0 1	0,6400
0 0 2	0,1200	1 0 2	-	2 0 2	-	3 0 2	-
0 0 3	0,1800	1 0 3	0,3733	2 0 3	0,5667	3 0 3	0,7600
0 1 0	0,0800	1 1 0	0,2733	2 1 0	0,4667	3 1 0	0,6600
0 1 1	0,1400	1 1 1	0,3333	2 1 1	0,5267	3 1 1	0,7200
0 1 2	0,2000	1 1 2	-	2 1 2	-	3 1 2	-
0 1 3	0,2600	1 1 3	0,4533	2 1 3	0,6467	3 1 3	0,8400
0 2 0	0,1600	1 2 0	0,3533	2 2 0	0,5467	3 2 0	0,7400
0 2 1	0,2200	1 2 1	0,4133	2 2 1	0,6067	3 2 1	0,8000
0 2 2	0,2800	1 2 2	-	2 2 2	-	3 2 2	-

**Окончание табл. 6**

код	Z	код	Z	код	Z	код	Z
0 2 3	0,3400	1 2 3	0,5333	2 2 3	0,7267	3 2 3	0,9200
0 3 0	0,2400	1 3 0	0,4333	2 3 0	0,6267	3 3 0	0,8200
0 3 1	0,3000	1 3 1	0,4933	2 3 1	0,6867	3 3 1	0,8800
0 3 2	0,3600	1 3 2	-	2 3 2	-	3 3 2	-
0 3 3	0,4200	1 3 3	0,6133	2 3 3	0,8067	3 3 3	1,0000

*Примечание: знак «-» означает, что сочетание невозможно*

Численно степень необходимости возведения и выбора типа конструкций инженерной защиты предлагается оценить коэффициентом степени необходимости защиты  $K_z$ :

$$K_z = K_b \times Z, \quad (2)$$

где  $K_b$  – коэффициент состояния берега, определяемый по табл. 1;  $Z$  – коэффициент

защитных конструкций, определяемый по табл. 6.

В таблице 7 приводятся вычисленные значения коэффициентов степени необходимости защиты  $K_z$  для различных вариантов состояния берега и коэффициентов защитных конструкций.

**Таблица 7.** Значения коэффициентов степени необходимости защиты  $K_z$

**Table 7.** Values of the  $K_z$  protection coefficient

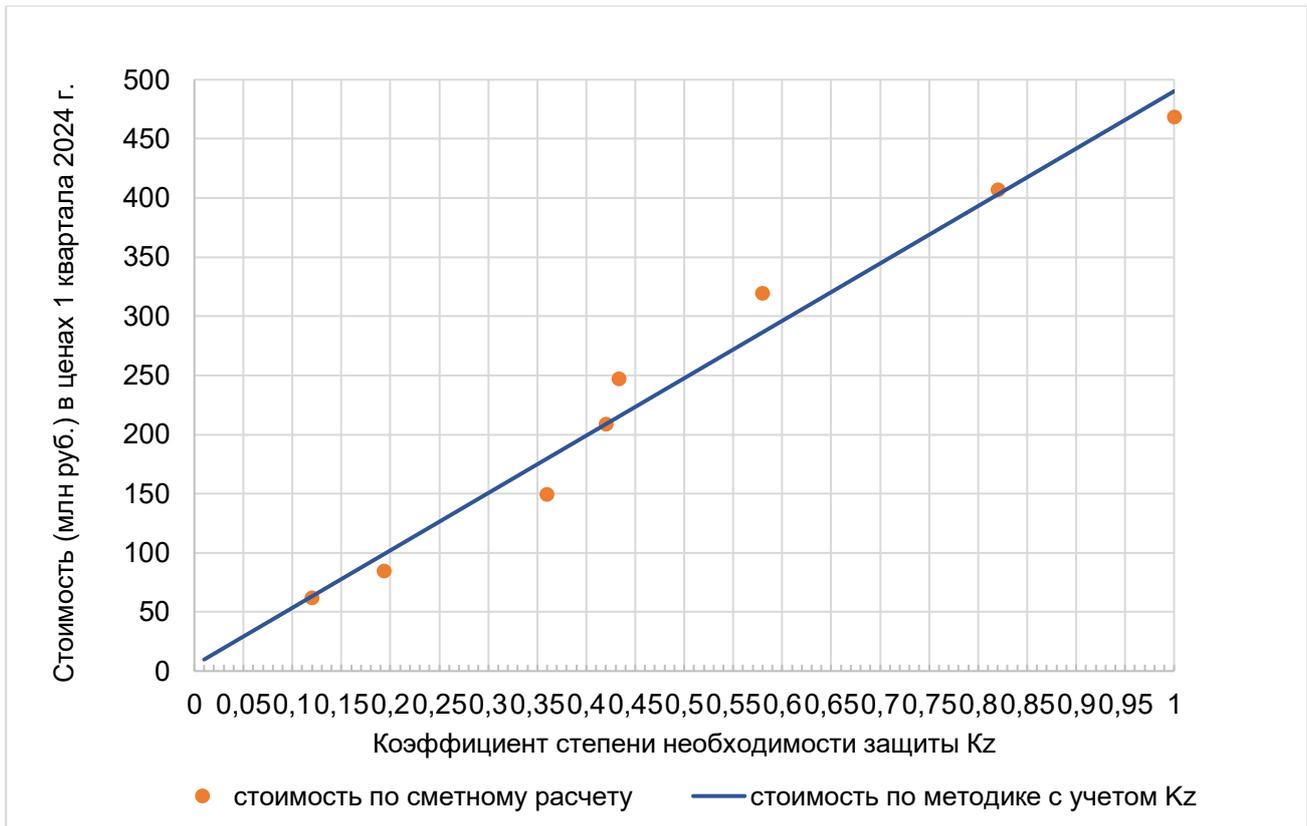
$K_b=0,9$			$K_b=0,95$			$K_b=1$					
код	Z	$K_z$	код	Z	$K_z$	код	Z	$K_z$			
0 0 0	0,0000	0,0000	1 3 1	0,4933	0,4440	0 0 0	0,0000	-	1 3 1	0,4933	0,4933
0 0 1	0,0600	0,0540	1 3 3	0,6133	0,5520	0 0 1	0,0600	0,0570	1 3 3	0,6133	0,5827
0 0 2	0,1200	0,1080	2 0 0	0,3867	0,3480	0 0 2	0,1200	0,1140	2 0 0	0,3867	0,3673
0 0 3	0,1800	0,1620	2 0 1	0,4467	0,4020	0 0 3	0,1800	0,1710	2 0 1	0,4467	0,4243
0 1 0	0,0800	0,0720	2 0 3	0,5667	0,5100	0 1 0	0,0800	0,0760	2 0 3	0,5667	0,5383
0 1 1	0,1400	0,1260	2 1 0	0,4667	0,4200	0 1 1	0,1400	0,1330	2 1 0	0,4667	0,4433
0 1 2	0,2000	0,1800	2 1 1	0,5267	0,4740	0 1 2	0,2000	0,1900	2 1 1	0,5267	0,5003
0 1 3	0,2600	0,2340	2 1 3	0,6467	0,5820	0 1 3	0,2600	0,2470	2 1 3	0,6467	0,6143
0 2 0	0,1600	0,1440	2 2 0	0,5467	0,4920	0 2 0	0,1600	0,1520	2 2 0	0,5467	0,5193
0 2 1	0,2200	0,1980	2 2 1	0,6067	0,5460	0 2 1	0,2200	0,2090	2 2 1	0,6067	0,5763
0 2 2	0,2800	0,2520	2 2 3	0,7267	0,6540	0 2 2	0,2800	0,2660	2 2 3	0,7267	0,6903
0 2 3	0,3400	0,3060	2 3 0	0,6267	0,5640	0 2 3	0,3400	0,3230	2 3 0	0,6267	0,5953
0 3 0	0,2400	0,2160	2 3 1	0,6867	0,6180	0 3 0	0,2400	0,2280	2 3 1	0,6867	0,6523
0 3 1	0,3000	0,2700	2 3 3	0,8067	0,7260	0 3 1	0,3000	0,2850	2 3 3	0,8067	0,7663
0 3 2	0,3600	0,3240	3 0 0	0,5800	0,5220	0 3 2	0,3600	0,3420	3 0 0	0,5800	0,5510
0 3 3	0,4200	0,3780	3 0 1	0,6400	0,5760	0 3 3	0,4200	0,3990	3 0 1	0,6400	0,6080
1 0 0	0,1933	0,1740	3 0 3	0,7600	0,6840	1 0 0	0,1933	0,1837	3 0 3	0,7600	0,7220
1 0 1	0,2533	0,2280	3 1 0	0,6600	0,5940	1 0 1	0,2533	0,2407	3 1 0	0,6600	0,6270
1 0 3	0,3733	0,3360	3 1 1	0,7200	0,6480	1 0 3	0,3733	0,3547	3 1 1	0,7200	0,6840
1 1 0	0,2733	0,2460	3 1 3	0,8400	0,7560	1 1 0	0,2733	0,2597	3 1 3	0,8400	0,7980
1 1 1	0,3333	0,3000	3 2 0	0,7400	0,6660	1 1 1	0,3333	0,3167	3 2 0	0,7400	0,7030
1 1 3	0,4533	0,4080	3 2 1	0,8000	0,7200	1 1 3	0,4533	0,4307	3 2 1	0,8000	0,7600
1 2 0	0,3533	0,3180	3 2 3	0,9200	0,8280	1 2 0	0,3533	0,3357	3 2 3	0,9200	0,8740
1 2 1	0,4133	0,3720	3 3 0	0,8200	0,7380	1 2 1	0,4133	0,3927	3 3 0	0,8200	0,7790
1 2 3	0,5333	0,4800	3 3 1	0,8800	0,7920	1 2 3	0,5333	0,5067	3 3 1	0,8800	0,8360
1 3 0	0,4333	0,3900	3 3 3	1,0000	0,9000	1 3 0	0,4333	0,4117	3 3 3	1,0000	0,9500

«-» означает, что сочетание невозможно

0 ≤  $K_z$  < 0,38; 0,38 ≤  $K_z$  < 0,55; 0,55 ≤  $K_z$  < 1.

На основании выполненных расчетов сметной стоимости [1, 7] определен размер затрат на строительство и эксплуатацию 100 п.м раз-

личных вариантов защитных конструкций в зависимости от значений коэффициента степени необходимости защиты  $K_z$  (рис. 3).



**Рис. 3. Стоимость вариантов защиты 100 п.м участков в зависимости от коэффициента степени защиты  $K_z$**

**Fig. 3. The cost of protection options for 100 square meters of land, depending on the coefficient of degree of protection  $K_z$**

При значениях коэффициента степени необходимости защиты  $0 \leq K_z < 0,38$  степень необходимости возведения и выбора типа конструкций инженерной защиты оценивается как низкая. Объем капитальных вложений на строительство и эксплуатацию конструкций инженерной защиты от гидродинамических воздействий естественной водной среды составит менее 182 млн руб. на 100 п.м сооружений (в ценах по состоянию на 1 квартал 2024 г.). При значениях коэффициента степени необходимости защиты  $0,38 \leq K_z < 0,55$  степень необходимости возведения и выбора типа конструкций инженерной защиты оценивается как средняя. Объем капитальных вложений на строительство и эксплуатацию конструкций инженерной защиты от гидродинамических воздействий естественной водной среды составит, ориентировочно, от 182 до 260 млн руб. на 100 п.м сооружений (в ценах по состоянию на 1 квартал 2024 г.).

При значениях коэффициента степени необходимости защиты  $0,55 \leq K_z \leq 1$  степень необходимости возведения и выбора типа конструкций инженерной защиты оценивается как высокая. Объем капитальных вложений на

строительство и эксплуатацию конструкций инженерной защиты от гидродинамических воздействий естественной водной среды составит, ориентировочно, от 260 до 490 млн руб. на 100 п.м сооружений (в ценах по состоянию на 1 квартал 2024 г.).

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен метод интегральной оценки необходимости возведения и выбора типа конструкций инженерной защиты транспортных сооружений от гидродинамических воздействий естественной водной среды. На основе анализа и экспертной оценки определяется степень необходимости защиты транспортного сооружения (либо его инфраструктуры). Приведенный метод может использоваться для оценки риска аварии (путем определения коэффициента опасности по показателю, учитывающему возможные последствия и величину материального ущерба вследствие аварии) [26–28], а также укрупненных сметных расчетов стоимости строительства. Данный подход позволяет выполнять количественную интегральную оценку, что согласуется с современными направлениями в строительстве и гидро-технике [29, 30].

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Тлявлиная Г.В., Тлявлин Р.М., Мегрелишвили И.Ю. Сравнение показателей различных типов берегозащитных сооружений // Транспортное строительство. 2011. № 5. С. 10–12. EDN: NZAHFJ.
2. Быкова О.Н., Путихин Ю.Е., Репникова В.М. Разработка сценариев развития транспортной инфраструктуры Владимирской области // Экономика, предпринимательство и право. 2022. Т. 12. № 3. С. 1031–1050. <https://doi.org/10.18334/epp.12.3.114308>. EDN: PIPPKY.
3. 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>.
4. 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>.
5. Ataei N., Steams M., Padgett J.E. Response Sensitivity for Probabilistic Damage Assessment of Coastal Bridges Under Surge and Wave Loading // Transportation Research Record. 2010. Vol. 2202. Iss. 1. P. 93–101. <https://doi.org/10.3141/2202-12>.
6. Wandji Zoumb, P. A. Fourier regression model predicting train-bridge interactions under wind and wave actions / P. A. Wandji Zoumb, X. Li // Structure & Infrastructure Engineering. 2023. Vol. 19, No. 10. P. 1489–1503. <https://doi.org/10.1080/15732479.2022.2033281>.
7. Тлявлиная 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: LIKCR.
8. Ashpiz E., Savin A., Tlyavlin R., Tlyavlina G. Urgent Issues of Anti-Deformation Measures to Protect Coastal Railways // 14<sup>th</sup> Medcoast Congress On Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation (Marmaris, 22–26 October, 2019). Marmaris, 2019. P. 841–852. EDN: JWHEBE.
9. Тлявлиная Г.В., Ярославцев Н.А., Петров В.А., Тлявлин Р.М. О методах защиты транспортных сооружений на открытых песчаных берегах внутренних морей // Транспортное строительство. 2015. № 6. С. 14–16. EDN: SGDDMX.
10. 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>.
11. 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>.
12. Lira-Loarca A., Caceres-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>.
13. 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>.
14. 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>.
15. 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>.
16. Латыпов А. И., Гараева А. Н., Лулева О. В., Королев Э. А. Интегральная оценка суффозионной опасности территории Бугульминского плато Бугульминско-Белебеевской возвышенности // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2022. № 6. С. 37–45. <https://doi.org/10.31857/S0869780922060066>. EDN: PRRXAQ.
17. Архипов Д.Э., Едемский К.Е., Кожевникова С.И., Дмитриев В.В. Развитие мониторинга водных объектов на основе интегральной оценки экологического статуса и моделирования экологических функций // European Journal of Natural History. 2022. № 2. С. 31–37. EDN: WEMDZL.
18. Дмитриев В.В., Третьяков В.Ю., Зырянова Д.С., Овсепян А.А., Почепако С.Ю., Немчинова А.В. и др. Оценка экологического статуса водоемов на основе построения композитных индексов: методика, результаты, перспективы // Гидрометеорология и экология. 2024. № 75. С. 293–309. <https://doi.org/10.33933/2713-3001-2023-75-293-309>. EDN: LJPOAJ.

19. Александрова Л.В., Васильев В.Ю., Дмитриев В.В., Мякишева Н.В., Огурцов А.Н., Третьяков В.Ю. и др. Многокритериальные географо-экологические оценки состояния и устойчивости природных и урбанизированных систем. М.: Всероссийский институт научной и технической информации РАН, 2000. 275 с. EDN: ZVPHGF.
20. Лищишин И.В., Тлявлин Р.М., Тлявлиная Г.В. Защита транспортных сооружений от волнового воздействия в условиях использования побережья в рекреационных целях // Транспортное строительство. 2011. № 3. С. 2–5. EDN: NYJPNF.
21. Petrov V.A. Stability of an Artificial Pebble Beach in Front of Slope Structures during Upsurge // Power Technology and Engineering. 2022. Vol. 55. P. 659–666. <https://doi.org/10.1007/s10749-022-01413-8>.
22. Тлявлиная Г.В., Тлявлин Р.М., Ярославцев Н.А. Защита транспортных сооружений от волнового воздействия путем создания песчаного волногасящего пляжа // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 5. С. 24–33. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-3>. EDN: HJTUGM.
23. Тлявлин Р.М. Волноломы для защиты прижимных участков железных дорог // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2024. № 2. С. 23–32. [https://doi.org/10.52170/1815-9265\\_2024\\_69\\_23](https://doi.org/10.52170/1815-9265_2024_69_23). EDN: GTCJLN.
24. Cervantes M.S., Diaz-Carrasco P., Moragues M.V., Clavero M., Losada M.A. Uncertainties of the Actual Engineering Formulas for Coastal Protection Slopes. The Dimensional Analysis and Experimental Method // Proceedings of the 39th IAHR World Congress (Granada, 19–24 June 2022). Granada, 2022. P. 1–8. <https://doi.org/10.3850/IAHR-39WC252171192022900>.
25. 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>.
26. 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.
27. 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.
28. Кузьмина Т.К., Волков Р.В., Карнаухова Д.О. Комплексная методология оценки рисков строительных проектов в современных условиях // Строительное производство. 2022. № 2. С. 37–41. [https://doi.org/10.54950/26585340\\_2022\\_2\\_37](https://doi.org/10.54950/26585340_2022_2_37). EDN: CVEYGF.
29. Овсеян А.А., Панютин Н.А., Дмитриев В.В. Потенциальная устойчивость водоема: от балльно-индексных оценок к интегральной оценке на основе композиционных индексов // Международный студенческий научный вестник. 2024. № 1. С. 1–10. <https://doi.org/10.17513/msnv.21434>. EDN: MKRPLE.
30. Ahmed I., Das (Pan) N., Debnath J., Bhowmik M., Bhattacharjee S. Flood Hazard Zonation Using GIS-Based Multi-Parametric Analytical Hierarchy Process // Geosystems and Geoenvironment. 2024. Vol. 3. Iss. 2. P. 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.geogeo.2023.100250>.

## REFERENCES

1. 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.
2. Bykova O.N., Putikhin Yu.E., Repnikova V.M. Scenarios for the Transport Infrastructure Development in the Vladimir Region. *Journal of Economics, Entrepreneurship and Law*. 2022;12(3):1031-1050. (In Russ.). <https://doi.org/10.18334/ep.12.3.114308>. EDN: PIPPKY.
3. 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>.
4. 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>.
5. Ataei N., Steams M., Padgett J.E. Response Sensitivity for Probabilistic Damage Assessment of Coastal Bridges Under Surge and Wave Loading. *Transportation Research Record*. 2010;2202(1):93-101. <https://doi.org/10.3141/2202-12>.
6. Wandji Zoumb, P. A. Fourier regression model predicting train-bridge interactions under wind and wave actions / P. A. Wandji Zoumb, X. Li // Structure & Infrastructure Engineering. 2023. Vol. 19, No. 10. P. 1489-1503. <https://doi.org/10.1080/15732479.2022.2033281>.
7. 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.
8. Ashpiz E., Savin A., Tlyavlin R., Tlyavlina G. Urgent Issues of Anti-Deformation Measures to Protect Coastal

- Railways. In: *14<sup>th</sup> Medcoast Congress On Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation*. 22–26 October 2019, Marmaris. Marmaris; 2019. P. 841–852. EDN: JWHEBE.
9. Tlyavlina G.V., Yaroslavtsev N.A., Petrov V.A., Tlyavlin R.M. Protection Methods of Transportation Facilities on Open Sandy Shores of Inner Seas. *Transport Construction*. 2015;6:14-16. (In Russ.). EDN: SGDDMX.
10. 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>.
11. 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>.
12. Lira-Loarca A., Caceres-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>.
13. 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>.
14. 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;175:1-8. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017506008>.
15. 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>.
16. Latypov A.I., Garaeva A.N., Luneva O.V., Korolev E.A. Integral Assessment of the Suffosion Hazard at the Bugulma Plateau, the Bugulma-Belebey Upland. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*. 2022;6:37-45. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0869780922060066>. EDN: PRRXAQ.
17. Arkhipov D.E., Edemsky K.E., Kozhevnikova S.I., Dmitriev V.V. Development of Monitoring Of Water Bodies Based On Integrated Assessment of Ecological Status and Modeling of Ecological Functions. *European Journal of Natural History*. 2022;2:31-37. (In Russ.). EDN: WEMDZL.
18. Dmitriev V.V., Tretiakov V.Yu., Zyryanova D.S., Ovsepyan A.A., Pochevko S.Yu., Nemchinova A.V. et al. Assessment of The Ecological Status of Reservoirs Based on The Construction of Composite Indices: Methodology, Results, Prospects Article Title. *Gidrometeorologiya i ekologiya*. 2024;75:293-309. (In Russ.). <https://doi.org/10.33933/2713-3001-2023-75-293-309>. EDN: LJPOAJ.
19. Aleksandrova L.V., Vasilev V.Yu., Dmitriev V.V., Myakisheva N.V., Ogurtsov A.N., Tretiyakov V.Yu. et al. *Multicriteria Geographical and Ecological Assessments of The State and Stability of Natural and Urbanized Systems*. Moscow: All-Russian Institute of Scientific and Technical Information, Russian Academy of Sciences, 2000. 275 p. (In Russ.). EDN: ZVPHGF.
20. Lishchishin I.V., Tlyavlin R.M., Tlyavlina G.V. Protection of Transport Constructions Against Wave Influence in the Conditions of Coast Use for the Recreational Purposes. *Transport Construction*. 2011;3:2-5. (In Russ.). EDN: NYJPNF.
21. Petrov V.A. Stability of an Artificial Pebble Beach in Front of Slope Structures during Upsurge. *Power Technology and Engineering*. 2022;55:659-666. <https://doi.org/10.1007/s10749-022-01413-8>.
22. Tlyavlina G.V., Tlyavlin R.M., Yaroslavtsev N.A. Protection of Transport Structures from Wave Action by Creating a Sandy Wave-Damping Beach. *World of Transport and Transportation*. 2023;21(5):24-33. (In Russ.). <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-3>. EDN: HJTUGM.
23. Tlyavlin R.M. Breakwaters for the Protection of Clamping Sections of Railways. The Siberian Transport University Bulletin. 2024;2:23-32. (In Russ.). [https://doi.org/10.52170/1815-9265\\_2024\\_69\\_23](https://doi.org/10.52170/1815-9265_2024_69_23). EDN: GTCJLN.
24. Cervantes M.S., Diaz-Carrasco P., Moragues M.V., Clavero M., Losada M.A. Uncertainties of the Actual Engineering Formulas for Coastal Protection Slopes. The Dimensional Analysis and Experimental Method. In: *Proceedings of the 39th IAHR World Congress*. 19–24 June 2022, Granada. Granada; 2022. P. 1–8. <https://doi.org/10.3850/IAHR-39WC252171192022900>.
25. 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>.
26. Finagenov O.M., Beshlian A.R. Risk in Hydroengineering. *Proceedings of the VNIIG*. 2007;246:107-112. (In Russ.). EDN: IBWITV.
27. Finagenov O.M., Shtilman V.B., Shulman S.G., Yudelevich A.M. Development of Methods for Assessing the Reliability of Hydraulic Structures. *Proceedings of the VNIIG*. 2021;300:7-20. (In Russ.). EDN: IANMJK.

28. Kuzmina T.K., Volkov R.V., Karnaukhova D.O. Comprehensive Methodology of Risk Assessment of Construction Projects in Current Circumstances. *Construction Production*. 2022;2:37-41. (In Russ.). [https://doi.org/10.54950/26585340\\_2022\\_2\\_37](https://doi.org/10.54950/26585340_2022_2_37). EDN: CVEYGZ.
29. Ovsepyan A.A., Panyutin N.A., Dmitriev V.V. Potential Stability of A Reservoir: From Point-Index Estimates to An Integral Assessment Based on Composite Indices. *Mezhdunarodnyi studencheskii nauchnyi vestnik*. 2024;1:1-10. (In Russ.). <https://doi.org/10.17513/msnv.21434>. EDN: MKRPLE.
30. Ahmed I., Das (Pan) N., Debnath J., Bhowmik M., Bhattacharjee S. Flood Hazard Zonation Using GIS-Based Multi-Parametric Analytical Hierarchy Process. *Geosystems and Geoenvironment*. 2024;3(2):1-13. <https://doi.org/10.1016/j.geogeo.2023.100250>.

### Информация об авторе

**Тлявлиная 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, ул. Образцова, д. 9, стр. 9,  
Россия,  
✉ e-mail: TlyavlinaGV@Tsnis.com  
<https://orcid.org/0000-0003-4083-9014>  
Author ID: 604630

### Information about the author

**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 “Morskies berega”,  
1, Yana Fabritciusa St., Sochi 354002, Russia,  
Doctoral Student of Bridge and Tunnels  
Department,  
Russian University of Transport (MIIT),  
9 House, 9 Bldg. Obraztsova St., Moscow 127994,  
Russia,  
✉ e-mail: TlyavlinaGV@Tsnis.com  
<https://orcid.org/0000-0003-4083-9014>  
Author ID: 604630

### Вклад автора

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

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

### Contribution of the author

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

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

### Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта  
интересов.

Автор прочитал и одобрил окончательный  
вариант рукописи.

### Conflict of interests

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

The final manuscript has been read and approved  
by the author.

### Информация о статье

Статья поступила в редакцию 10.06.2025.  
Одобрена после рецензирования 14.07.2025.  
Принята к публикации 28.07.2025.

### Information about the article

The article was submitted 10.06.2025.  
Approved after reviewing 14.07.2025.  
Accepted for publication 28.07.2025.



## Постбрутализм и постмодернизм в архитектуре г. Иркутска 1990–2010-х гг.

Н.С. Еремин<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург, Россия

**Аннотация.** Данная статья посвящена рассмотрению наиболее значимых объектов постсоветского периода в г. Иркутске. Цель исследования заключается в выявлении их стилистических особенностей и основных приемов формообразования. Проведенная работа включила в себя актуализацию ряда библиографических источников, направленных на профессиональную аудиторию региона, натурные обследования с фотофиксацией ключевых объектов 1990–2010 гг. и непосредственное общение с авторами исследуемых зданий. Многоплановость обозначенного периода располагает к последовательному и равнозначному изучению планировочной и скульптурно-художественной составляющей. По результатам изысканий в статье представлена часть собранной фотографической базы и таблица с краткой характеристикой деталей, которые наиболее ясным образом формируют образную идентичность современной архитектуры города. С помощью систематизации найденных материалов, автор делает попытку дать научную характеристику культурной значимости и роли постмодернистских тенденций в современном архитектурном процессе города как со стороны практического проектирования, так и в контексте образовательного процесса исторически сложившейся школы сибирских зодчих. Все это позволило доказать, что на переломе эпох иркутским архитекторам удалось, сохранив богатейшее наследие бруталистов и их актуальный опыт, ответить на вызовы современности гуманным, рационально-художественным дополнением этого фонда. Более того, не изменивший принципам обращенности к человеку и человеческому масштабу, иркутский постбрутализм составил конкретный, воплощенный пример силы воли, творческой стойкости уже для второй четверти века, стремительно усложнившейся в экономических факторах и обусловленной ими сверхурбанизации.

**Ключевые слова:** постбрутализм, иркутский региональный модернизм, постмодернизм, архитектурная идентичность, семантические характеристики, институт Иркутскгражданпроект, персональные архитектурные мастерские

**Для цитирования:** Еремин Н.С. Постбрутализм и Постмодернизм в архитектуре Иркутска 1990-х – 2010-х годов // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 4. С. 756–769. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-4-756-769>. EDN: YPMCI.

**Благодарности:** Автор выражает особую благодарность иркутским архитекторам Инне Евгеньевне Дружининой, Олегу Борисовичу Бадула и Владимиру Борисовичу Стегайло за предоставление необходимых в исследовании библиографических и проектных материалов, а также экспертную поддержку при подготовке данной статьи.

### Original article

## Postbrutalism and postmodernism in the architecture of Irkutsk in the 1990s and 2010s.

Nikita S. Eremin<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup>Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russia

**Abstract.** This article is devoted to the consideration of the most significant objects of the post-Soviet period in Irkutsk. The purpose of the study is to identify their stylistic features and basic shaping tech-

niques. The work carried out included updating a number of bibliographic sources aimed at the professional audience of the region, field surveys with photographs of key facilities in 1990-2010, and direct communication with the authors of the buildings under study. The multidimensional nature of the designated period leads to a consistent and equivalent study of the planning and sculptural-artistic component. Based on the results of the research, the article presents a part of the collected photographic database and a table with a brief description of the details that most clearly form the figurative identity of the modern architecture of the city. By systematizing the found materials, the author attempts to provide a scientific description of the cultural significance and role of postmodern trends in the modern architectural process of the city, both from the practical design perspective and in the context of the educational process of the historically established school of Siberian architects. All this made it possible to prove that at the turning point of the epochs Irkutsk architects managed, while preserving the rich heritage of the Brutalists and their relevant experience, to meet the challenges of modernity with a humane, rational and artistic addition to this fund. Moreover, Irkutsk post-brutalism, which has not changed the principles of appeal to man and the human scale, has become a concrete, flattened example of willpower and creative perseverance for the second quarter of the century, which has become increasingly complicated in economic factors and the resulting overurbanization.

**Keywords:** postbrutalism, Irkutsk regional modernism, postmodernism, architectural identity, semantic characteristics, Irkutskgrazhdanproekt Institute, personal architectural workshops

**For citation:** Eremin N.S. Postbrutalism and postmodernism in the architecture of Irkutsk in the 1990s and 2010s. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2025;15(4):756-769. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-4-756-769>. EDN: YPMCII.

**Acknowledgements:** The author expresses special gratitude to Irkutsk architects Inna E. Druzhinina, Oleg B. Badula and Vladimir B. Stegailo for providing the necessary bibliographic and design materials in the study, as well as expert support in the preparation of this article!

## ВВЕДЕНИЕ

Наиболее важной и целостной характеристикой позднесоветского г. Иркутска является первоочередная обращенность его к человеческой личности, несмотря на определенную жесткость бруталистских ансамблей.

Открытия 1970–80-х гг. позволили структурировать историческую городскую ткань доминантами, сберечь уют внутриквартального пространства, силами эргономики возвести типовое жилье в элитарный, даже по современным стандартам, класс. На рубеже нового века перед сибирскими зодчими предстала ответственная задача – удерживая достигнутый уровень внутреннего мира архитектуры, придать ей внешнюю привлекательность для частного потребителя. Утвердить ту последовательную художественность, что позволила бы не раздробить, а подчеркнуть живописное начало в образе стремительно возвращающегося к мелкомасштабной застройке города. В результате активной деятельности первых двадцати лет сложилось современное поколение творческой интеллигенции, авангард которой составили уже опытные специалисты Иркутскгражданпроекта, постепенно основавшие ряд сотрудничающих между собой персональных мастерских [1, 2]. Значительно усилилась контролирующая

и научная роль региональной организации Союза архитекторов России. По состоянию на 2010 г., уже возможно выделение ряда характерных произведений регионального постбрутализма или постмодернизма – варьирующихся в тонких пропорциях формотворческой преемственности и обновленных архитектурно-художественных черт.

## МЕТОДЫ

Необходимость теоретического труда, специально направленного на раннее постсоветское наследие сибирской столицы, стала очевидна в ходе ряда натурных обследований, проводимых с 2022 г. по настоящее время. Сегодня в г. Иркутске очевиден болезненный диссонанс между сложившимся долгим эволюционным путем, идентичным в своей многоплановости образом, и безликим пластом инертных, подавляющих масштабный ряд окружения жилых и торговых комплексов, сторонние авторы которых делают упор лишь на интровертивное качество. Кроме того, даже в заинтересованном научном сообществе, линия конструктивного развития взаимодополняющих региональных школ признана и изучена только до периода иркутского ренессанса или необрутализма, условно обрываемого распадом СССР в 1991 г [2, 3].

Последовавшие архитектурные поиски были драматичны и, по признанию многих современников, подчас противоречивы. Теперь, спустя 25–30 лет, энергия, политическая воля и твердость авторской позиции первых постмодернистов проявляются на зримом контрасте. Таким образом, основной целью данной работы является исследование формирования в составе архитектуры г. Иркутска постмодернистских или постбруталистских тенденций и их развития. Изыскания представляли собой прежде всего составление репрезентативной выборки наиболее важных для рассмотрения в статье объектов по принципам художественной выразительности, хронологической последовательности и передовых проектных решений.

К сожалению, за редким исключением, оригинальные эскизы и чертежи, существовавшие исключительно на бумаге, не сохранились. Поэтому, практические методы – фотофиксация, а также непосредственное общение с иркутскими архитекторами – были направлены на создание иллюстративного архива.

Полученная база впоследствии позволила изучить преобразования смыслового подхода современной региональной архитектуры, выявить характерные элементы и решения, определить формотворческие закономерности иркутского постбрутализма.

В части библиографических источников принципиальную важность имели работы И.Е. Дружининой. Пройденный путь службы в Иркутскгражданпроекте и частной творческой деятельности подробно зафиксирован в ценных технических примерах, с привлечением исторических, градостроительных сведений и профессиональной графики.

Во многом именно учебный, практический характер материалов сделал возможным понимание глубинной сути и принципов проектирования исследуемых в данной статье построек.

#### *Жилые здания*

Монументальная историческая фигура В.А. Павлова большинством исследователей рассматривается чаще всего в контексте именно советского модернизма, возведенного в авторский необрутализм [4, 5]. Было бы глубоким заблуждением считать, что его деятельность, после оставления в 1986 г. поста главного архитектора института Иркутскгражданпроект, полностью перешла в западный регион и после реализации многосекционного дома в Ленинграде ограничилась теорией. Напротив, во время посещения Иркутска, В.А. Павлов поддерживал сотрудничество с коллегами и учениками. Одним из последних проектов, вы-

полненных по заказу Горисполкома и не дождавшихся воплощения до распада СССР, стал кондоминиум со связанными надземным переходом ступенчатыми блок-секциями, разноуровневые апартаменты в которых обогащали гостиные с открытой террасой или даже приквартирные дворики. Остающееся даже сейчас эффективным и актуальным в престижном классе, это предложение по застройке ул. Бабушкина разрабатывалось при участии С.М. Григорьева и А.П. Зиброва. Вскоре именно А.П. Зибров возглавит в должности ГАП АПМ-3 Иркутскгражданпроекта планирование достройки Комплекса городской администрации, продолжая рабочее проектирование Зала Городского Совета уже при дистанционном, неофициальном участии автора идеи как советника [6, 7].

Вместе с тем, в 1995 г. В.А. Павлов и его многолетний соратник, главный архитектор г. Иркутска В.Ф. Бух, предлагают современное дополнение ранее ими же созданного мкр-н Первомайский. Ряд отдельностоящих таунхаусов позволил бы качественно решить рельефный спуск к юго-восточной границе участка [8]. К сожалению, проект не был осуществлен из-за нехватки средств.

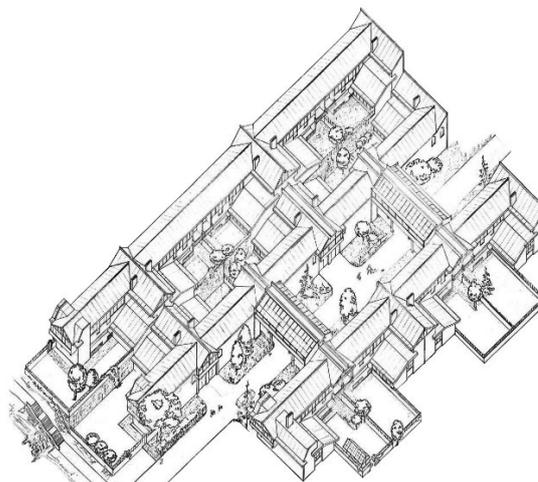
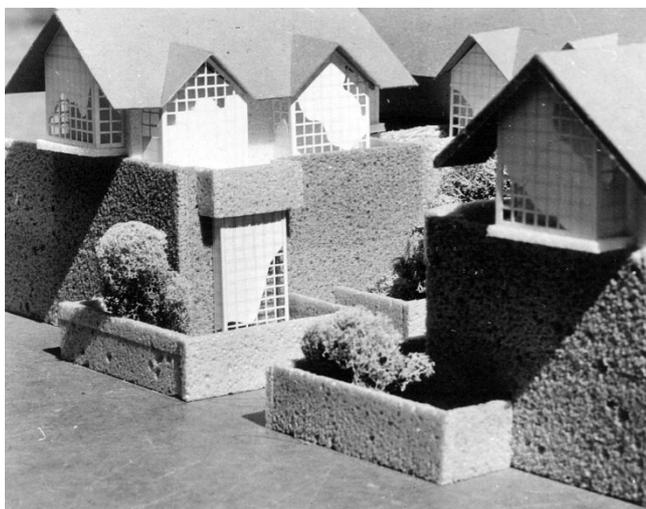
Стоит отметить, что материалы сохранившегося проекта, лаконично сочетающего черты органической традиционной восточной архитектуры в привычном для г. Иркутска модернистском объеме и материале, отчетливо характеризуют замыслы состоявшихся мастеров (рис. 1, 2). Спроектированные в советскую эпоху микрорайоны г. Иркутска характеризуются групповой и периметральной застройкой средней этажности при размещении акцентных, экспериментальных единиц по фронту городских магистралей, в качестве пропилен внутреннего пространства (яркий пример 1970-х гг. – мкр-н Байкальский) [9, 10].

В расцвет модернизма многосекционные дома, в исключительных случаях, приближаются к городским доминантам, например, жилой комплекс «Главвостоксибстроя» авторства В.А. Павлова.

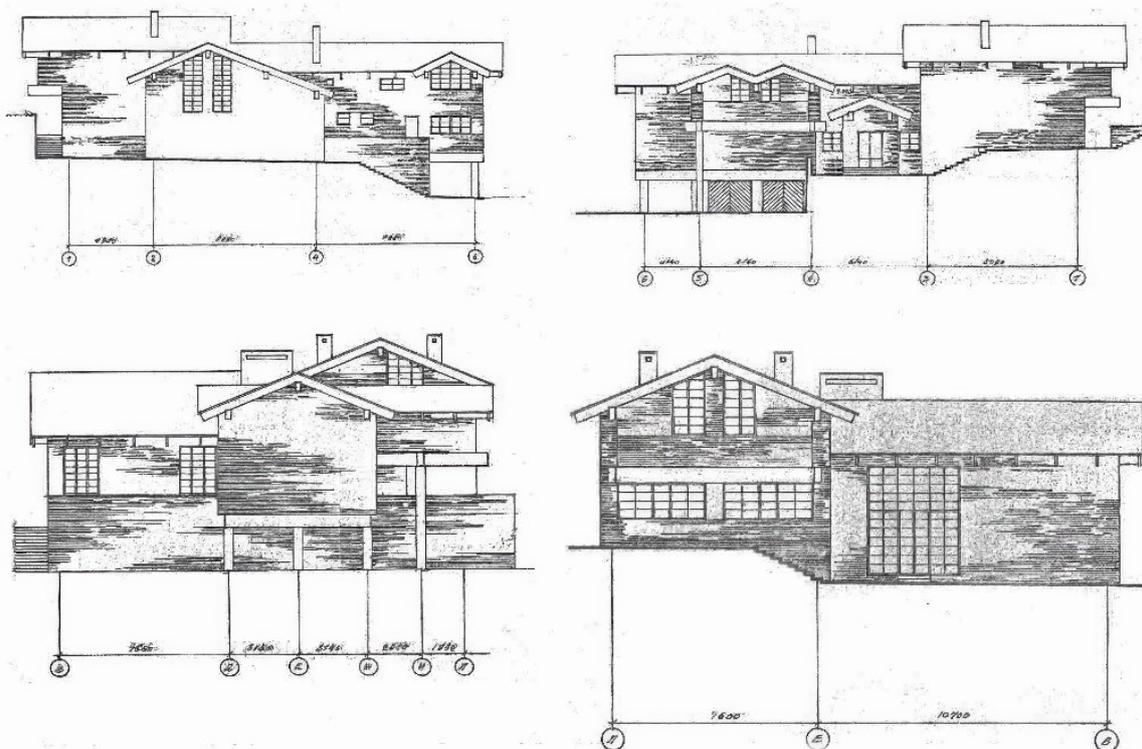
Сложившаяся ситуация в рыночной экономике, возникновение частной собственности на землю вскоре расширили спектр применения секционных схем спросом на отдельностоящие комплексы с ограниченной территорией или включения здания в аутентичный архитектурный ландшафт, нуждающийся в обновлении центральных узлов городской жизни. Через объекты, созданные архитекторами А.Н. Юшковым, А.П. Зибровым, Е.А. Третьяковым и И.Е. Дружининой (рис. 3, 4), можно увидеть

прогресс стилистического решения: от компиляции испытанных жилых секций с эпизодическим введением постмодернистских форм до утверждения новой типологической палитры объемно-пластических элементов, что без прямых заимствований создают фактуру взаимодействия со сложным историческим окружением.

Выявленные тенденции имеют практическое толкование в контексте условий Сибири: многоскатные кровли с крутым уклоном обеспечивают водоотведение, кристаллы панорамно остекленных лоджий создают дополнительный тепловой барьер внутренних помещений, а пастельная цветовая гамма штукатурных поверхностей поддерживает живописный пейзаж улицы в холодный период.



**Рис. 1. Фото с макета и изометрический вид проекта застройки по ул. Бабушкина, 1980-е**  
**Fig. 1. Photograph of the model and isometric view of Babushkin St. presumed develop, 1980-s**



**Рис. 2. Проект таунхаусов в микрорайоне Первомайском.**  
**Архитекторы В.А. Павлов и В.Ф. Бух, 1995 г.**  
**Fig. 2. The project of Townhouses by V. Pavlov and V. Buch. 1995**



*Рис. 3. Жилой комплекс с офисными помещениями по ул. Поленова.  
Архитектор А.Н. Юшков, 1997 г.*

*Fig. 3. Residential complex with office spaces on Polenova st. Arch. A. Yushkov. 1997*



*Рис. 4. Многосекционные жилые дома по ул. 1-й и 4-й Советской. Архитекторы А.П. Зибров,  
Е.А. Третьяков, И.Е. Дружинина, 2000–2004 гг.*

*Fig. 4. Multibay residential buildings on 1st and 4th Soveyskaya st. Arch. A. Zibrov, E. Tretyakov,  
I. Druzhinina. 2000 - 2004*

Следует отметить, что формотворческий прием продолжает образные традиции необрутализма [11].

Это видно в завершении башней дома по адресу ул. Байкальская 273А. Проект разрабатывался архитекторами О.Б. Бадула и В.Б. Стегайло в 1991–1992 гг. с изменением условий заказа (изначально предполагалось мало-семейное общежитие). Данный объект является примером характерной для города каскадной застройки. В рельеф участка, перепадом до 4,5 м, встроена автостоянка.

Объемные ленты вертикального остекления в данном случае выступают дополнительной шумоизоляцией от трамвайной линии.

Успешно примененная компоновка квартир в нескольких уровнях с отдельными входами

на первом этаже показала актуальность опередившего свое время открытия шестидесятников [12, 13]

#### *Общественные здания и комплексы*

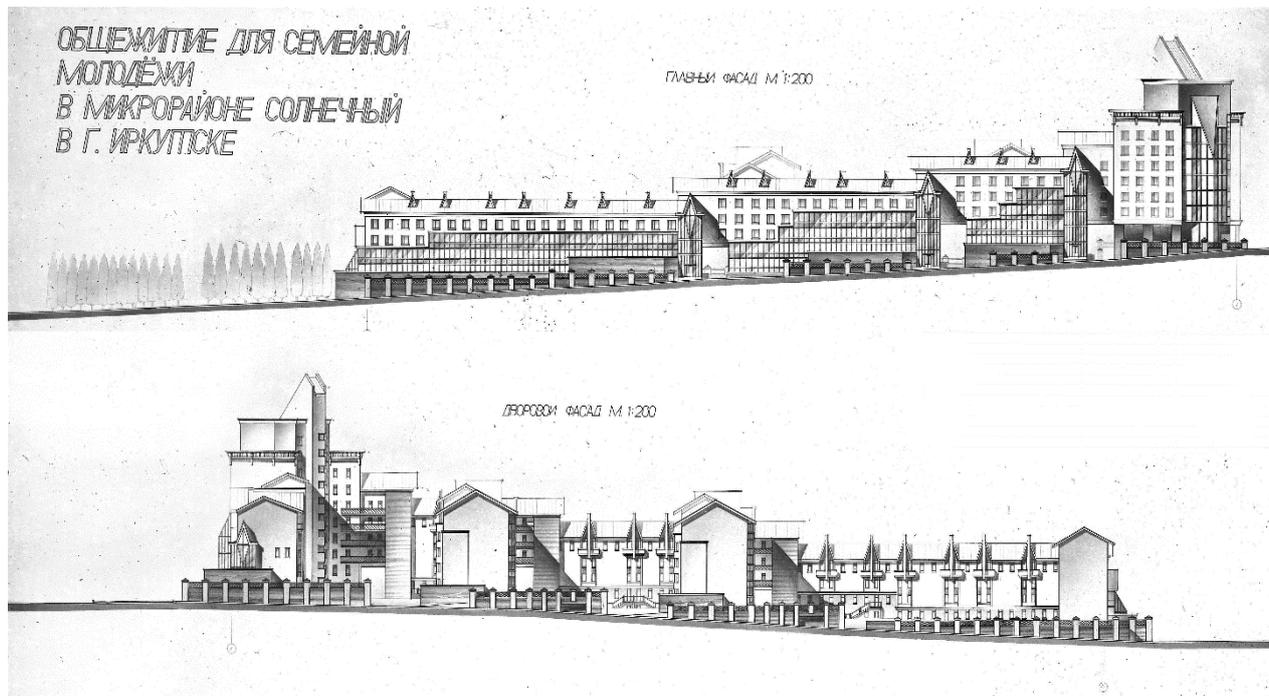
Можно уверенно отнести роль постбруталистских тенденций к жилой застройке г. Иркутска. Описанное направление, обеспечивая техническую и эргономическую эффективность, дало эволюционное развитие среды модернистского города в качественной сомасштабной преемственности. Однако, вместе с тем, существующая система доминант, массивных в красном кирпиче и мраморе общественно-деловых зданий, требовала других акцентов.

К началу XXI в., новейшие материалы и методы проектирования, наряду с научной базой

региональной школы, позволили создать современные включения в различном контексте и ряде стилистических приемов.

Оставшийся на эскизной стадии, но заслуживший высшую награду фестиваля «Зодчество-93», проект комплексной реконструкции Русско-Азиатского банка, совместного авторства А.Н. Юшкова и А.А. Колесникова, является примером последовательности градостроительного и декоративного решений.

Предложение заказчика объединить знаковый объект модерна архитектора В.И. Коляновского с выкупаемым зданием по ул. Ленина, 36 в новый банковский центр, позволило развить идею о продлении ул. Ярослава Гашека до перекрестка, организовать, в закрытом от магистрали дворе, легкую по конструкции, но контрастную в образе систему вестибюлей, а также связать комплекс с близлежащим сквером через подземный уровень площади.



**Рис. 5. Презентационный планшет проекта малосемейного общежития. Архитекторы О.Б. Бадула, В.Б. Стегайло, 1991 г.**  
**Fig. 5. Presentation tablet of the small family dwelling. Arch. O. Badula, V. Stegailo. 1991**



**Рис. 6. Крупный план террасы и вид на дом 273А по ул. Байкальской**  
**Fig. 6. Close-up photo of the terrace and view to the house 273A on Baikal'skaya st.**



**Рис. 8. Эскизный макет по проекту реконструкции Русско-Азиатского банка.  
Архитекторы А.Н. Юшков, А.А. Колесников, 1993 г.  
Fig. 8. Conception reconstruction model of Russian-Asian bank.  
Arch A. Yushkov, A. Kolesnikov. 1993**

Образцом контекстуального подхода может служить административное здание по адресу ул. Свердлова, 10 авторства И.Е. Дружининой и И.В. Логванова.

На соседствующем с деревянными особняками участке, архитекторам предстояло выполнить проект здания, по объему сопоставимого с выходящим на ближайший перекресток институтом Иркутскгражданпроект. Успешное решение в этих условиях удалось найти благо-

даря определенному переосмыслению композиционного открытия «Дома на ногах» [14]. Высота стилобата и пилонов по ул. Свердлова приблизительно соответствует масштабу противостоящих усадеб, позволяя эффектно отразить их в витражном остеклении первого уровня. Строгие горизонталы оконных лент и ритм крупных надстроек добавляют противовес институтскому корпусу в общей панораме квартала.



**Рис. 7. Административное здание у перекрестка ул. Свердлова и Степана Разина.  
Архитекторы И.Е. Дружинина, И.В. Логванов, 2011 г.  
Fig. 7. Administrative building at the intersection of Sverdlova and Stepana Rasina St.  
Arch. I. Druzhunina, I. Logvanov. 2011**

В отношении же стилистического эксперимента ключевое значение с 2004 г. приобрела ул. Чкалова.

При реконструкции ее квартала от пер. Гершевича до ул. Марата, архитекторы С.Б. Карпов, А.Ю. Макаров и А.А. Колесников сохранили усадебный характер генплана благодаря сетчатой застройке, в то же время увеличив

этажность секций второго плана при вынесении на красную линию яркого остроугольного акцента административно-торговой галереи. Была также предпринята деликатная попытка преобразования традиционных форм сибирского зодчества.

При разработке в 2008–2011 гг., расположенной на слиянии ул. Чкалова и Н. Гаврилова,

гостиницы коллектив, под руководством архитектора О.Б. Бадула, выдерживал неоднократные дебаты по поводу удерживающего угол характерного «стеклянного носа». В результате изменился колористический характер, но концепция все-таки была согласована к реализации. Сложная консоль с нависанием в восемь

метров была выполнена в пространственной металлической конструкции, работающей совместно с монолитным каркасом. Данный объект по сей час остается единственным среди зданий крупного масштаба в историческом центре г. Иркутска примером постмодернизма с элементами деконструкции.



**Рис. 8. Гостиница на соединении ул. Чкалова и Н. Гаврилова. Архитектор О.Б. Бадула, 2011 г. (материалы автора-архитектора)**

**Fig. 8. Hotel on connecting of Chkalova and Gavrilova Streets. Arch. O. Badula. 2011 (materials of the architect-author)**

В истории постмодернизма г. Иркутска присутствуют эксклюзивные сооружения. Речь в данном случае не идет о формировании устойчивых тенденций или влиянии на общий архитектурный процесс города. Однако, невозможно обойти вниманием Собор Непорочного Сердца Божией Матери.

В связи с ключевым для города культурно-туристическим значением органного зала, власти отказывали в возвращении польским католикам исторического собора, отданного филармонии в советский период. Не получили поддержки и планы диаспоры учредить в костеле, 1864 г. постройки, музей [15, 16].

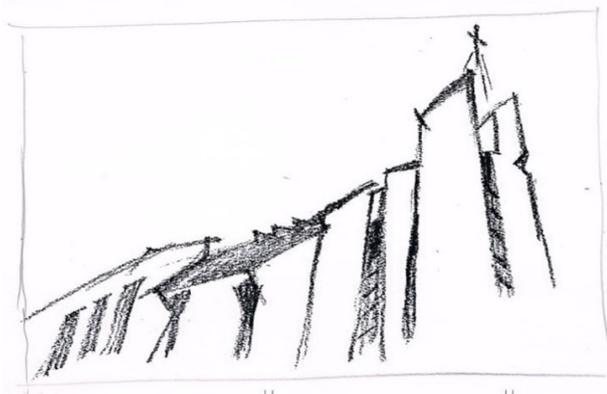
Взамен было предложено несколько площадок для свободного от выкупа земли строительства нового Кафедрального собора. Управляющий Восточно-Сибирской апостольской администрацией, епископ и видный церковный деятель Е. Мазур остановил выбор на возвышении, что приходится напротив Иркутского национального исследовательского технического университета. Почти сразу же после этого поляки принесли на согласование главному архитектору города Б.И. Куликову готовый проект, выполненный немецким архитектором. Но, совершенно не связанный с местом, он был отклонен. Проектирование тогда было предложено В.Б. Стегайло (на тот момент занимавшему должность главного архитектора института Иркутскгражданпроекта) и О.Б. Бадула

– автору молитвенного дома евангельских христиан баптистов, построенного в 1996 г.

Для предпроектных консультаций и согласования эскиз-идеи со стороны польских специалистов был приглашен А.Ж. Хвалибог. Всего за неделю совместной работы удалось найти убедительный образ будущего собора, скульптурную аллюзию на митру священника, и внедрить этот объем в генеральный план. Так, в архитектуре г. Иркутска было дано начало направлению символизма [17, 18]. Технологии параметрического BIM-проектирования на территории России доступны тогда еще не были. Авторам приходилось вначале экспериментально моделировать будущее сооружение в пенопласте, а затем разбирать удавшиеся макеты и обводить криволинейные плоскости стен на кульмане, получая таким образом необходимые для работы проекции и чертежи. Изыскания показали, что сейсмичность площадки составляет восемь баллов. Поэтому, при выборе конструктивной схемы было принято решение создать криволинейную оболочку, площадью около 1000 м<sup>2</sup>, посредством монолитных железобетонных плит кессонного типа, лежащих в разных плоскостях. Была применена также система двухслойных стен, содержащих, помимо железобетона, кирпичную кладку, которая играет роль неснимаемой опалубки. Строительство началось летом 1999 г., а завершились

осенью 2000 г. Подрядчиком выступала местная компания ЗАО «Иркутскпромстрой». Сегодня Собор имеет статус кафедрального в католической епархии. В комплексе на постоянной

основе проживают около десяти ее представителей. Помимо богослужений и просветительской деятельности для всех желающих регулярно даются концерты органной музыки.



**Рис. 9. Собор Непорочного Сердца Божией Матери. Архитекторы А.Ж. Хвалибог, О.Б. Бадула, В.Б. Стегайло, 2011 г.**

**Fig. 9. Cathedral of the Immaculate Heart of Our Lady. Arch. A.J. Chwalibog, O. Badula, V. Stegailo. 2011**

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Результаты исследования изучаемых проектов и построек, а также мнения их непосредственных авторов-архитекторов, позволяют выделить постмодернизм и постбрутализм как сложившиеся в характерных региональных чертах направления иркутской архитектуры [19, 20].

Необрутализм составил основное направление прогресса в период с 1960 по 1990 г., как переосмысленное в особых условиях города мировое течение середины XX в. Переход к капиталистической экономике обусловил необходимость поиска потребительской привлекательности, художественности и плюрализма форм.

На рубеже веков выделились и сформировались два направления в философии новой региональной архитектуры: близкий к западной трактовке постмодернизм и эндемичный постбрутализм.

Постмодернистская ветвь, возрождающая романтическое начало, характеризовалась в значительной мере уникальными объектами, именно постбрутализм дал наиболее последовательное развитие рационалистической школе 1970–80-х гг., привнеся эстетику гуманизма в лучшие ее достижения [24].

Детали и элементы, составившие определенную традицию, систематизировались на основе их аттрактивной и силуэтной работы в пространстве. Они представлены в таблице.

**Характерные элементы образной идентичности постсоветской архитектуры Иркутска  
Characteristic elements of the Post-Soviet Irkutsk architecture identity**

Наименование приема (детали)	Характеристика	Иллюстрация
Объемные остекления	Кажущееся сложным в реализации и скорее дизайнерским решением, в г. Иркутске утвердилось ясной технологической эффективностью – позволяя добавить тепловой или шумовой барьер. Благодаря этому, панорамные витражи широко применялись даже в советский период.	 <p>Жилые дома по адресу ул. Байкальская, 273А, ул. Советская, 45 (Архитекторы О.Б. Бадула, В.Б. Стегайло, Е.А. Третьяков, А.П. Зибров, И.Е. Дружинина)</p>

Продолжение таблицы

Наименование приема (детали)	Характеристика	Иллюстрация
Мансардные этажи	Скатная кровля является не только приоритетным вариантом, но и предметом постоянного творческого поиска сибирских зодчих. Важно отметить, что принципы проектирования общественных пространств в мансарде во многом основаны на опытных единицах мкр-н Байкальский и Университетский	 <p>Жилые дома по адресу ул. Поленова, 35, ул. Красноярская, 31 (Архитекторы А.Н. Юшков, О.Б. Бадула, конструктор Л.А. Латышев)</p>
Остроугольные объемные элементы	Сохраненная в эпоху стандартизации и функционализма – смелость постановки акцента оказалась вновь востребована при решении объемно-планировочных задач в историческом контексте [25]	 <p>Жилой комплекс со встроенными общественными помещениями в квартале от пер. Гершевича до ул. Марата (Архитекторы С.Б. Карпов, А.Ю. Макаров, А.А. Колесников); административное здание в г. Шелехове</p>
Крыши как характерный инструмент формообразования	Ставшие традицией мезонины мансардных этажей в некоторых образцах постбрутализма приобрели значение образной основы проекта. Более того, скатные элементы получили эффективное применение как активная деталь силуэта	 <p>Гостиница «Дельта» (Архитектор А.П. Зибров); здание института «Востсибтрансстрой» – решение надстройки</p>
Шпили и декоративные завершения	Достаточно быстро иркутским архитекторам удалось добиться гармонии и осмысленности в сочетании чисто декоративных, скульптурных форм с массивным функциональным объемом. При этом был найден целый ряд неожиданных стилизованных решений	 <p>Жилые дома по адресу ул. Красногвардейская, 23; ул. Красноярская, 31 (Архитекторы А.Н. Юшков, О.Б. Бадула, конструктор Л.А. Латышев)</p>

Окончание таблицы

Наименование приема (детали)	Характеристика	Иллюстрация
Исторические аллюзии	В начале нового столетия формотворческая мысль вновь обратилась к переосмыслению истории: в частности, элементов деревянного модерна конца XIX – начала XX в. Найдены возможности корректного дополнения ими современной структуры в актуальном строительном материале [26]	 <p>Жилой комплекс со встроенными общественными помещениями в квартале от пер. Гершевича до ул. Марата (Архитекторы С.Б. Карпов, А.Ю. Макаров, А.А. Колесников); пример аллюзии на исторические формы деревянной архитектуры г. Иркутска</p>

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итог исследованию наиболее выразительных и значимых в структуре постсоветской застройки зданий, в качестве основного объекта классификации и характеристики следует отметить их самобытное образное начало [27, 28]. Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы:

1. Особенность иркутского постбрутализма и постмодернизма состоит в ответственном, эволюционном подходе современных архитекторов к наследию региональной школы. Это выражается практически – интеграцией художественных акцентов и новых материалов в бруталистский контекст, поиском стремительных силуэтов, творческим переосмыслением базовой детали и технического пространства.

2. Можно утверждать, что не лишенный драматизма период 1990–2010-х гг. стал для

г. Иркутска достойным продолжением его исторически многоплановой идентичности и тогда же привел к высшей точке ее эволюционного качественного развития.

Актуальная действительность продолжает испытывать творческое самосознание отечественных зодчих прагматичным заказом, клишированной модой и необходимостью отстаивать принцип искусства.

3. Сегодня особенно важен образовательный процесс, качественно поставленный несколькими поколениями сибирских мастеров [30].

Сонаправленность исторической науки, а также практических примеров комплексного градостроительного, объемно-пространственного и архитектурно-композиционного подхода дают зримые ориентиры для прогресса иркутской школы.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Стегайло В., Буйнов А., Жуковский Н., Демков С., Шерстова Н. Перестройка (1987–1999) // Проект Байкал. 2015. Т. 12. № 43. С. 101–130. EDN: ZCPWEB.
2. Исаков В.В., Ляпин А.А. Иркутские архитекторы. Иркутск: Элит, 1997. 87 с.
3. Новиков Ф., Белоголовский В. Советский модернизм 1955–1985: антология. Взгляд XXI века. Екатеринбург: TATLIN, 2010. 232 с.
4. Бронуицкая А.Ю., Малинин Н.С., Пальмин Ю.И. Москва: архитектура советского модернизма, 1955–1991: справочник-путеводитель. М.: Музей современного искусства «Гараж», 2019. 352 с.
5. Бух В., Григорьева Е. Архитектор Владимир Павлов. Екатеринбург: TATLIN, 2013. 133 с.
6. Боков А. Владимир Павлов // Проект Байкал. 2010. № 26. С. 28–30. <https://doi.org/10.7480/projectbaikal.26.154>.
7. Павлов В. Объекты // Проект Байкал. 2010. № 26. С. 32–129. <https://doi.org/10.7480/projectbaikal.26.155>.
8. Золотарева М., Еремин Н. Ключевой объект Иркутского Ренессанса // Проект Байкал. 2025. Т. 22. № 83. С. 113–117. <https://doi.org/10.51461/issn.2309-3072/83.2493>. EDN: KPNTGC.

9. Боков А., Бержинский Ю., Стегайло В., Жуковский Н., Астраханцева В., Студенников А. и др. Золотой век (1975–1986) // Проект Байкал. 2015. Т. 12. № 43. С. 49–100. <https://doi.org/10.7480/project-baikal.43.865>. EDN: ZCPWDR.
10. Druzhinina I. The Use of Standard Series Plans in Designing Unique Buildings: The Case of V. A. Pavlov's Residential House in Irkutsk // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 880. P. 1–6. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/880/1/012060>.
11. Можнягун С.Е. О модернизме. Этюд первый. Истина и антиистина в эстетике модернизма. М.: Искусство, 1970. 278 с.
12. Хотулев Р.А., Ляпин А.А., Протасова Е.В., Демков С.Б. Иркутские архитекторы. Иркутск: Репроцентр А1, 2011. 272 с. EDN: WILCSX.
13. Дорофеев П. Микрорайонные структуры 1960–1970-х годов в Иркутске // Проект Байкал. 2014. Т. 11. № 39-40. С. 230–251. EDN: ZOFXIT.
14. Dorofeev P.A., Khokhrin E.V. Evolution of Concept of “Mass Housing Project” in the Context of French Ideas in Housing Policy of the USSR // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2012. № 2. С. 128–135. EDN: QCUWZT.
15. Еремин Н.С., Золотарева М.В. Иркутский регионализм как течение архитектуры советского модернизма // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 2. С. 383–397. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-2-383-397>. EDN: IWWETQ.
16. Колмаков Ю.П. Иркутская летопись 1661 – 1940 гг. Иркутск: Оттиск, 2003. 847 с.
17. Быстрова Т.Ю. От модернизма к неорационализму: творческие концепции архитекторов XX–XXI веков: монография. М., Екатеринбург: Кабинетный ученый, 2018. 400 с.
18. Раппапорт А.Г. Среда и архитектура // Городская среда: проблемы существования. М.: ВНИИТАГ, 1990. С. 157–178.
19. Кудрявцев А. Архитектурные школы и практики регионов. Записки очевидца // Проект Байкал. 2020. Т. 17. № 64. С. 32–36. <https://doi.org/10.7480/projectbaikal.64.1631>. EDN: BWEYPE.
20. Goldhoorn B., Meuser P. Capitalist Realism: New Architecture in Russia. Berlin: DOM Publishers, 2009. 303 p.
21. Орельская О.В., Худин А.А. Постмодернизм. Стили в архитектуре Нижнего Новгорода. Нижний Новгород: Бегемот, 2019. 239 с.
22. Золотарева М.В., Пономарев А.В. Курортный постмодернизм на примере Кисловодска // Современные проблемы истории и теории архитектуры. Сборник материалов IX Всероссийской научно-практической конференции (г. Санкт-Петербург, 05–06 ноября 2024 г.). СПб: 2025. С. 115–120. EDN: EDIYHJ.
23. Kirsh D. Changing the Rules: Architecture in the New Millennium // Convergence. The Journal of Research into New Media Technologies. 2001. Vol. 7. Iss. 2. P. 113–125.
24. Lefavre L., Tzonis A. Critical Regionalism: Architecture and Identity in a Globalized World. Munich: Prestel, 2003. 159 p.
25. Didem A.A. Brutalism Now: Rethinking Brutalism in Contemporary World Architecture // Arts. 2016. Vol. 5. Iss. 2. P. 3. <https://doi.org/10.3390/arts5020003>.
26. Klotz H. The History of Postmodern Architecture. Cambridge: MIT Press, 1988. 478 p.
27. Самсоненко А.Н. Иркутские стройки: от зарева двадцатого века до зарниц двадцать первого // Земля Иркутская. 2006. № 3. С. 43–51.
28. Eremin N.S., Zolotareva M.V. The Phenomenon of Irkutsk Multi-Faceted Identity Formation // Lecture Notes in Civil Engineering. 2025. Vol. 565. P. 469–483. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-80482-3\\_45](https://doi.org/10.1007/978-3-031-80482-3_45).
29. Багрова Н., Журин Н., Пустоветов Г., Филонов, С. Сибирская архитектурно-художественная школа: вчера и сегодня // Проект Байкал. 2020. Т. 17. № 64. С. 110–113. <https://doi.org/10.7480/project-baikal.64.1645>. EDN: GGNINC.
30. Дружинина И., Астраханцева В. Архитектурное образование в Иркутске // Проект Байкал. 2020. Т. 17. № 64. С. 130–139. <https://doi.org/10.7480/projectbaikal.64.1649>. EDN: HZMPIM.

## REFERENCES

1. Stegaylo V., Buynov A., Zhukovsky N., Demkov S., Sherstova N. Perestroika (1987–1999). *Project Baikal*. 2015;12(43):101-130. (In Russ.). EDN: ZCPWEB.
2. Isakov V.V., Lyapin A.A. *Irkutsk Architects*. Irkutsk: Elit, 1997. 87 p. (In Russ.).
3. Novikov F., Belogolovskii V. *Soviet Modernism 1955–1985: an Anthology. A 21st-Century View*. Yekaterinburg: TATLIN, 2010. 232 p. (In Russ.).
4. Bronovitskaya A.Yu., Malinin N.S., Palmin Yu.I. *Moscow: Architecture of Soviet Modernism, 1955–1991: A Handbook*. Moscow: Garage Museum of Contemporary Art, 2019. 352 p. (In Russ.).

5. Bukh V., Grigoreva E. *Architect Vladimir Pavlov*. Yekaterinburg: TATLIN, 2013. 133 p. (In Russ.).
6. Bokov A. Vladimir Pavlov. *Project Baikal*. 2010;26:28-30. (In Russ.). <https://doi.org/10.7480/project-baikal.26.154>.
7. Pavlov V. Objects. *Project Baikal*. 2010;26:32-129. <https://doi.org/10.7480/projectbaikal.26.155>.
8. Zolotareva M., Eremin N. Key Object of the Irkutsk Renaissance. *Project Baikal*. 2025;22(83):113-117. (In Russ.). <https://doi.org/10.51461/issn.2309-3072/83.2493>. EDN: KPNTGC.
9. Bokov A., Berzhinsky Yu., Stegaylo V., Zhukovsky N., Astrakhantseva V., Studennikov A. et al. The Golden Age (1975–1986). *Project Baikal*. 2015;12(43):49-100. (In Russ.). <https://doi.org/10.7480/projectbaikal.43.865>. EDN: ZCPWDR.
10. Druzhinina I. The Use of Standard Series Plans in Designing Unique Buildings: The Case of V. A. Pavlov's Residential House in Irkutsk. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020;880:1-6. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/880/1/012060>.
11. Mozhnyagun S.E. *On Modernism. Study One. Truth and Anti-Truth in the Esthetics of Modernism*. Moscow: Iskusstvo, 1970. 278 p. (In Russ.).
12. Khotulev R.A., Lyapin A.A., Protasova E.V., Demkov S.B. *Irkutsk Architects*. Irkutsk: Reprocenr A1, 2011. 272 p. (In Russ.). EDN: WILCSX.
13. Dorofeev P. Neighborhood Structures Of the 1960s-1970s in Irkutsk. *Project Baikal*. 2014;11(39-40):230-251. (In Russ.). EDN: ZOFXIT.
14. Dorofeev P.A., Khokhrin E.V. Evolution of Concept of "Mass Housing Project" in the Context of French Ideas in Housing Policy of the USSR. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2012;2:128-135. (In Russ.). EDN: QCUWZT.
15. Eremin N.S., Zolotareva M.V. Irkutsk Regionalism as a Trend of Soviet Modernism. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(2):383-397. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-2-383-397>. EDN: IWWETQ.
16. Kolmakov Yu.P. *Irkutsk Chronicle 1661–1940*. Irkutsk: Ottisk, 2003. 847 p. (In Russ.).
17. Bystrova T.Yu. *From Modernism to Neo-Rationalism: Creative Concepts of Architects of the XX–XXI Centuries: Monograph*. Moscow, Yekaterinburg: Cabinet Scholar, 2018. 400 p. (In Russ.).
18. Rappaport A.G. Environment and Architecture. In: *Urban Environment: Problems of Existence*. Moscow: VNIITAG, 1990. P. 157–178. (In Russ.).
19. Kudryavtsev A. Architecture Schools and Regional Practices. Notes of the Eyewitness. *Project Baikal*. 2020;17(64):32-36. (In Russ.). <https://doi.org/10.7480/projectbaikal.64.1631>. EDN: BWEYPE.
20. Goldhoorn B., Meuser P. *Capitalist Realism: New Architecture in Russia*. Berlin: DOM Publishers, 2009. 303 p.
21. Orelskaya O.V., Khudin A.A. *Postmodernism. Styles in the Architecture of Nizhny Novgorod*. Nizhny Novgorod: Behemoth, 2019. 239 p. (In Russ.).
22. Zolotareva M.V., Ponomarev A.V. Spa Postmodernism (On the Example of the Architecture of Kislovodsk at the End of the Twentieth Century). In: *Sovremennye problemy istorii i teorii arkhitektury. Sbornik materialov IX Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Contemporary Problems of the History and Theory of Architecture. Collection of Materials of the IX All-Russian Scientific and Practical Conference*. 05–06 November 2024, Saint Petersburg. Saint Petersburg; 2025. P. 115–120. (In Russ.). EDN: EDIYHJ.
23. Kirsh D. Changing the Rules: Architecture in the New Millennium. *Convergence. The Journal of Research into New Media Technologies*. 2001;7(2):113-125.
24. Lefavre L., Tzonis A. *Critical Regionalism: Architecture and Identity in a Globalized World*. Munich: Prestel, 2003. 159 p.
25. Didem A.A. Brutalism Now: Rethinking Brutalism in Contemporary World Architecture. *Arts*. 2016;5(2):3. <https://doi.org/10.3390/arts5020003>.
26. Klotz H. *The History of Postmodern Architecture*. Cambridge: MIT Press, 1988. 478 p.
27. Samsonenko A.N. Irkutsk Construction Projects: From The Dawn of the Twentieth Century to The Lightning of the Twenty-First. *Zemlya Irkutskaya*. 2006;3(31):43-51. (In Russ.).
28. Eremin N.S., Zolotareva M.V. The Phenomenon of Irkutsk Multi-Faceted Identity Formation. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2025;565:469-483. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-80482-3\\_45](https://doi.org/10.1007/978-3-031-80482-3_45).
29. Bagrova N., Zhurin N., Pustovetov G., Filonov S. Siberian Architecture and Art School: Yesterday and Today. *Project Baikal*. 2020;17(64):110-113. (In Russ.). <https://doi.org/10.7480/projectbaikal.64.1645>. EDN: GGNINC.
30. Druzhinina I., Astrakhantseva V. Architectural Education in Irkutsk. *Project Baikal*. 2020;17(64):130-139. (In Russ.). <https://doi.org/10.7480/projectbaikal.64.1649>. EDN: HZMPIM.

### Информация об авторе

**Еремин Никита Станиславович,**  
независимый исследователь,  
Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет,  
190005, г. Санкт-Петербург,  
ул. 2-ая Красноармейская, 4. Россия,  
✉e-mail: [eremin7845@yandex.ru](mailto:eremin7845@yandex.ru)  
<https://orcid.org/0009-0005-5475-593X>  
Author ID: 1247226

### 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.

### Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

### Информация о статье

Статья поступила в редакцию 23.06.2025.  
Одобрена после рецензирования 28.07.2025.  
Принята к публикации 08.08.2025.

### Information about the author

**Nikita S. Eremin,**  
Independent Researcher,  
Saint Petersburg State University of Architecture  
and Civil Engineering,  
4, 2nd Krasnoarmeyskaya St., Saint Petersburg  
190005, Russia,  
✉e-mail: [eremin7845@yandex.ru](mailto:eremin7845@yandex.ru)  
<https://orcid.org/0009-0005-5475-593X>  
Author ID: 1247226

### 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.

### Conflict of interests

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

The final manuscript has been read and approved by the author.

### Information about the article

The article was submitted 23.06.2025.  
Approved after reviewing 28.07.2025.  
Accepted for publication 08.08.2025.



**Комплексная оценка состояния существующих объектов  
для домашних и бездомных животных**

**С.И. Фазлыева<sup>1✉</sup>, М.П. Гришина<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Акционерное общество «Казанский Гипрониавиапром имени Б.И. Тихомирова», Республика Татарстан, Казань, Россия

<sup>2</sup>Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Республика Татарстан, Казань, Россия

**Аннотация.** Актуальность данного исследования связана с необходимостью формирования многопрофильных центров для домашних и бездомных животных в городах России, которые предлагали бы полный цикл ветеринарных услуг от рождения до смерти питомца и от регулярного ухода до сложных медицинских манипуляций. Проблема исследования заключается в недостаточной изученности вопросов грамотной организации архитектурного пространства полного замкнутого цикла услуг для домашних и бездомных животных и отсутствии архитектурной типологии подобных центров. Цель работы заключается в комплексной оценке состояния существующих объектов для домашних и бездомных животных на основе отечественного и зарубежного опыта. Задачами исследования являются: выявление эталонных существующих зарубежных и отечественных аналогов таких комплексов и их отдельных модулей, определения основных факторов данных объектов, формирование комплексной оценки состояния существующих объектов выбранной инфраструктуры. В результатах анализа объемно-планировочных решений объектов для домашних и бездомных животных на основе зарубежного и отечественного опыта были выявлены их закономерности и особенности в принципах проектирования, получены их объемно-планировочные модели, а также сформирована комплексная оценка текущего состояния объектов. Значимость полученных результатов состоит в том, что комплексная оценка состояния существующих объектов дает возможность определить основные факторы влияния и сформулировать принципы формирования идеальной модели развития комплекса на базе отдельно существующих объектов сферы обслуживания домашних питомцев.

**Ключевые слова:** многопрофильный центр для животных, объекты зоосферы, архитектура для животных, архитектурно-планировочная модель, комплексная оценка

**Для цитирования:** Фазлыева С.И., Гришина М.П. Комплексная оценка состояния существующих объектов для домашних и бездомных животных // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 4. С. 770–782. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-4-770-782>. EDN: YVDTKW.

**Original article**

**Comprehensive assessment of the condition of existing facilities  
for domestic and homeless animals**

**Sabina I. Fazlyeva<sup>1✉</sup>, Maria P. Grishina<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Joint Stock Company Kazan Giproniaviaprom named after B.I. Tikhomirov, Republic of Tatarstan, Kazan, Russia

<sup>2</sup>Kazan State University of Architecture and Engineering, Republic of Tatarstan, Kazan, Russia

**Abstract.** The relevance of this study is related to the need to form multi-profile centers for domestic and stray animals in Russian cities that would offer a full cycle of veterinary services from birth to death of a pet and from regular care to complex medical manipulations. The problem of the study lies in the lack of

study of the issues of the competent organization of the architectural space of a complete enclosed cycle of services for domestic and homeless animals and the lack of an architectural typology of such centers. The purpose of the work is to comprehensively assess the condition of existing facilities for domestic and homeless animals based on domestic and foreign experience. The objectives of the study are to identify existing reference foreign and domestic analogues of such complexes and their individual modules, identify the main factors of these facilities, and form a comprehensive assessment of the condition of existing facilities of the selected infrastructure. Based on foreign and domestic experience, the results of the analysis of spatial planning solutions for facilities for pets and stray animals revealed their patterns and features in design principles, obtained their spatial planning models, and formed a comprehensive assessment of the current state of facilities. The significance of the results obtained lies in the fact that a comprehensive assessment of the state of existing facilities makes it possible to identify the main influencing factors and formulate the principles of forming an ideal model for the development of the complex on the basis of separately existing facilities in the pet service sector.

**Keywords:** multidisciplinary center for animals, zoosphere facilities, architecture for animals, architectural and planning model, comprehensive assessment

**For citation:** Fazlyeva S.I., Grishina M.P. Comprehensive assessment of the condition of existing facilities for domestic and homeless animals. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2025;15(4):770-782. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-4-770-782>. EDN: YVDTKW.

## ВВЕДЕНИЕ

Объект исследования – объекты для обслуживания домашних и бездомных животных. Состояние объектов зоосферы напрямую влияет на удовлетворение потребностей людей с питомцами, усовершенствование уровня ветеринарных услуг и улучшение ситуации городов в отношении бездомных животных, что повышает их значимость [1, 2]. Это важно и для хозяев с их питомцами, и для брошенных животных [3]. Актуальность темы исследования связана с необходимостью формирования многопрофильных центров для домашних и бездомных животных в городскую среду с учетом современных тенденций и специфики ветеринарной деятельности. Предлагаемый многопрофильный центр для домашних и бездомных животных состоит из ветеринарной клиники, аптеки, зоогостиницы, зоомагазина, груминг-салона, центра дрессировки, выставочного павильона, ритуальных услуг с крематорием, а также приюта для безнадзорных животных с территорией индивидуального пользования [4]. Стоит помнить, что все животные – это компонент природного ландшафта и качество их жизни должно оптимально соответствовать естественным условиям обитания, но под чутким контролем человека [5, 6]. Ранее попыток создания подобного комплекса, способного обеспечивать полный жизненный цикл питомца на одной территории, в отечественном опыте не предпринималось.

Следовательно, архитектурной типологии подобных центров в нашей стране не имеется [7]. На сегодняшний момент это направление

можно считать новым. Возросло и внимание к здоровью животных, так как в современном мире питомец это уже не просто животное, а полноценный член семьи. Немаловажной проблемой в России являются бездомные животные, решение которой сейчас активно обсуждается [8, 9]. Подобного опыта проектирования многопрофильных центров для домашних и бездомных животных в мировой практике немного, поэтому в исследовании также будут рассматриваться отдельные включенные в комплекс объекты, которые так или иначе связаны с уходом за животными.

Предмет исследования – типологические, архитектурно-планировочные и визуальные критерии оценивания объектов для домашних и бездомных животных.

Задачами исследования являются:

- изучение современного зарубежного и отечественного опыта проектирования объектов для домашних и бездомных животных на основе матричного способа анализа;
- выявление основных характеристик данных объектов архитектуры;
- выявление комплексной оценки состояния рассматриваемых объектов.

Целью исследования является формирование комплексной оценки объектов архитектуры для домашних и бездомных животных на основе отечественного и зарубежного опыта, что дает сформулировать принципы проектирования идеальной модели для дальнейших архитектурно-планировочных разработок многопрофильного центра для домашних и бездомных животных.

**МЕТОДЫ**

Многопрофильный центр для домашних и бездомных животных – особый тип архитектурного объекта, формируемый путем предоставления различных услуг для животных в едином комплексе [10]. Исходя из этого, первым шагом в анализе является создание матрицы соотношений существующих объектов для животных разного типа на основе отечественного и зарубежного опытов.

В анализе использовались методы архитектурно-градостроительного и структурного анализа, методы систематизации и классификации. В качестве материалов для исследования были использованы только реализованные архитектурные объекты.

Для выявления закономерностей и особенностей в принципах проектирования на основе анализа были использованы функционирующие объекты таких стран, как Россия, США, Португалия, Австралия, Словения, Испания, Нидерланды, Чехия и Бельгия.

Для проведения исследования были рассмотрены более 50 объектов для животных разных типов, методом выбора были отобраны по 15 примеров мирового и отечественного опыта.

Для правильной систематизации все объекты были распределены на шесть групп:

- многофункциональные центры для животных;
- ветеринарные объекты;
- гостиницы для домашних животных, груминг-салоны, зоомагазины;
- кинологовические центры, центры дрессировки;
- приюты для бездомных животных;
- крематории для животных [11].

Метод классификации позволил систематизировать объекты зоосферы по их функциональному назначению (рис. 1, 2).

Каждому объекту были отрисованы схематические модели объемно-пространственного решения, анализ которых позволил разделить объекты по архитектурным формам: упрощенная, усложненная и сложная.

Проекты были проанализированы по таким характеристикам, как площадь, градостроительное решение, ландшафт, материалы и цвета. Анализ зарубежного опыта проектирования объектов для домашних и бездомных животных (рис. 1) показал, что здания стараются располагать так, чтобы сделать его максимально заметным и доступным вместо того, чтобы прятаться на окраине города. Для фасадов используются яркие цвета, что оживляет территорию. Внешний вид здания передает его

суть [12]. Также на фасадах часто используются природные мотивы для спокойствия и благополучия животного. Деревья и частые насаждения снижают чрезмерный уровень шума (лай), служат своего рода буфером [13, 14].

В зарубежном опыте активно проектируются центры с полифункциональным пространством, т. е. каждый корпус отвечает за определенную функцию [15]. В архитектурно-планировочной структуре делается упор на улучшение психоэмоционального состояния животного, а также спокойствие и комфорт человека. Существует устное правило: «Если хорошо питомцу, значит хорошо человеку» [16, 17].

Был проведен аналогичный анализ отечественного опыта проектирования объектов для домашних и бездомных животных (рис. 2).

Основное развитие объектов для домашних животных в СССР началось только во второй половине XX в., что особенно повлияло на текущее состояние данных учреждений [18].

В XXI в. в России наиболее продвинутые ветеринарные центры представляют собой лечебные комплексы с несколькими специализированными отделами, стационарами, аптеками и лабораториями. Чаще всего такие центры представляют собой несколько корпусов, расположенных в разных районах города, редко встречаются клиники, имеющие только одно общее здание [19].

Также в городе большая часть объектов для домашних животных располагается на первых этажах жилых и офисных зданий. Внешний облик ветеринарных клиник не имеет особых средств архитектурной выразительности, однако изредка встречаются на фасадах декоративные средства выразительности с изображениями животных [20, 21].

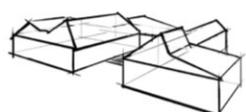
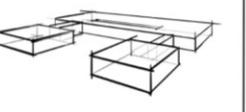
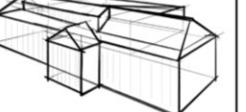
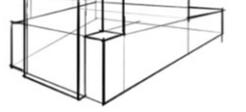
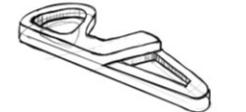
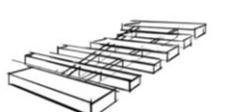
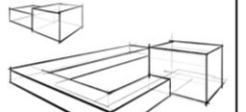
Отдельно стоящие ветеринарные центры представляют собой малоэтажные здания, внутреннее пространство которых разделено на функциональные зоны [22]. При оценивании учитывались такие критерии, как функциональное назначение объектов изучения, их функциональная структура, планировочная структура, градостроительная организация, доступность территории, архитектура здания и дополнительные функции.

Оценка объектов с учетом важных аспектов проектирования в отношении животных дает основу в виде выведенных принципов идеальной модели многопрофильного центра. Учитываемые критерии, были составлены матрица соотношений зарубежного опыта проектирования объектов для домашних и бездом-

ных животных и матрица соотношений отечественного опыта проектирования объектов для домашних и бездомных животных (рис. 3, 4).

С помощью матричного метода были выявлены сильные и слабые стороны каждого объекта зоосферы по выбранным параметрам.

Наиболее удачными примерами можно считать объекты с высокой оценкой по критериям. У них можно выделить ключевые аспекты в проектировании, способствующие созданию комфортной среды как для людей, так и для животных.

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ЦЕНТРЫ ДЛЯ ЖИВОТНЫХ			ГОСТИНИЦЫ ДЛЯ ДОМАШНИХ ЖИВОТНЫХ, ГРУМИНГ-САЛОНЫ	
<b>Центр ухода за животными и общественный центр</b> Архитекторы: RA-DA Расположение: Южный Лос-Анджелес, США Год: 2013	<b>Ресурсный центр для домашних животных</b> Архитекторы: RA-DA Расположение: Бентонвилл, США Год: 2023	<b>Мичиганская лига спасения животных</b> Архитекторы: PLY+ Расположение: Понтиак, США Год: 2020	<b>Отель для собак и кошек</b> Архитекторы: Raulino Silva Arquitecto Расположение: Португалия Год: 2019	<b>Отель Dog Kask</b> Архитекторы: gfa Расположение: Нью-Сити, Нью-Йорк, США Год: -
				
				
ВЕТЕРИНАРНЫЕ ОБЪЕКТЫ			КИНОЛОГИЧЕСКИЕ ЦЕНТРЫ, ЦЕНТРЫ ДРЕССИРОВКИ	
<b>Ветеринарная больница Стаффорда</b> Архитекторы: Vokes and Peters Расположение: Брисбен, Австралия Год: 2021	<b>Ветеринарная служба Танасборна</b> Архитекторы: gfa Расположение: Хиллсборо, Орегон, США Год: -	<b>Специализированная и неотложная помощь животным (PASE)</b> Архитекторы: gfa Расположение: Филадельфия, Пенсильвания, США Год: -	<b>Полицейский кинологовический центр</b> Архитекторы: Andrej Kalamar Расположение: Любляна, Словения Год: 2007	<b>Образовательная школа для собак, людей и других видов</b> Архитекторы: Ebedusto + Lys Vilalba Расположение: Брионете, Испания Год: 2020
				
				
ПРИЮТЫ ДЛЯ БЕЗДОМНЫХ ЖИВОТНЫХ			КРЕМАТОРИИ ДЛЯ ЖИВОТНЫХ, РИТУАЛЬНЫЕ УСЛУГИ	
<b>Центр приюта для животных</b> Архитекторы: Arons en Gelauff Architects Расположение: Амстердам, Нидерланды Год: 2007	<b>Центр переселения животных Блэктауна</b> Архитекторы: Sam Crawford Architects Расположение: Блэктаун, Австралия Год: 2023	<b>Центр по уходу за животными в Палм-Спрингс</b> Архитекторы: Swatt   Meier Architects Расположение: Палм-Спрингс, США Год: 2011	<b>Крематории для домашних животных Юкатимич угодков</b> Архитекторы: Petr Hájek Architekti Расположение: Жижков, Чехия Год: 2020	<b>Приют для животных и крематории для домашних животных Ломмель</b> Архитекторы: Collectief Noord Расположение: Ломмель, Бельгия Год: 2017
				
				

**Рис. 1. Классификация зарубежного опыта проектирования объектов для домашних и бездомных животных**  
**Fig. 1. Classification of foreign experience in designing facilities for pets and stray animals**

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ЦЕНТРЫ ДЛЯ ЖИВОТНЫХ			ГОСТИНИЦЫ ДЛЯ ДОМАШНИХ ЖИВОТНЫХ, ГРУМИНГ-САЛОНЫ	
<b>Центр реабилитации животных «Юна»</b> Архитекторы: - Расположение: Подольск, Россия Год: 2014	<b>Многофункциональный ветеринарный центр</b> Архитекторы: A&D architects Расположение: Сколково, Россия Год: 2018	<b>Многопрофильный Ветеринарный Центр ИВЦ «Два Сердца»</b> Архитекторы: - Расположение: Санкт-Петербург, Россия Год: -	<b>Зоогостиница для животных «Атаман»</b> Архитекторы: - Расположение: Московская область, Россия Год: 2002	<b>Зоогостиница «Топту»</b> Архитекторы: - Расположение: Санкт-Петербург, Россия Год: -
ВЕТЕРИНАРНЫЕ ОБЪЕКТЫ			КИНОЛОГИЧЕСКИЕ ЦЕНТРЫ, ЦЕНТРЫ ДРЕССИРОВКИ	
<b>Ветеринарная клиника «Биоконтроль»</b> Архитекторы: - Расположение: Москва, Россия Год: Реставрация 2014	<b>Здание при ветеринарной клинике</b> Архитекторы: Rayonplast Расположение: Люберцы, Россия Год: -	<b>Ветеринарная клиника «Зверополис»</b> Архитекторы: Rayonplast Расположение: Набережные Челны, Россия Год: 2022	<b>Центр кинологической службы УВД</b> Архитекторы: ООО «Жилспецпроект» Расположение: Москва, Россия Год: 2016	<b>Центр Кинологического Развития NEVA</b> Архитекторы: - Расположение: Санкт-Петербург, Россия Год: 2018
ПРИЮТЫ ДЛЯ БЕЗДОМНЫХ ЖИВОТНЫХ			КРЕМАТОРИИ ДЛЯ ЖИВОТНЫХ, РИТУАЛЬНЫЕ УСЛУГИ	
<b>Приют для бездомных животных</b> Архитекторы: - Расположение: Белгород, Россия Год: 2021	<b>Городской приют для бездомных животных</b> Архитекторы: - Расположение: Ноябрьск, Россия Год: 2015	<b>Приют для животных в Заводском районе</b> Архитекторы: - Расположение: Саратов, Россия Год: 2021	<b>Крематорий для домашних животных ЭкоРесурс</b> Архитекторы: - Расположение: Казань, Россия Год: 2009	<b>Ветригуал</b> Архитекторы: - Расположение: Москва, Россия Год: -

**Рис. 2. Классификация отечественного опыта проектирования объектов для домашних и бездомных животных**

**Fig. 2. Classification of domestic experience in designing facilities for pets and stray animals**

С целью удобства визуального восприятия оценок была выбрана градация розового цвета, где ярко розовый и его оттенки соответствуют оценке от 4 до 5, бледно розовый и его оттенки – оценка от 2 до 3, белый – от 0 до 1. Следовательно, насыщенный розовый – самый высокий показатель, а белый – самый низ-

кий. Так, среди зарубежных объектов для домашних и бездомных животных, по показателям и с учетом важных аспектов проектирования в отношении животных, образцовыми стали Центр переселения животных Блэктауна / Sam Crawford Architects, Ресурсный центр для домашних животных / РА-ДА и Мичиганская

лига спасения животных / PLY+. Следует отметить, что зарубежные объекты зоосферы, которые не получили высокую среднюю оценку, не практикуют полифункциональность среды, а

также не используют в организации территории геопластику рельефа для максимально благоприятных природных условий животных (рис. 3).

№	Название объекта исследования	Функциональная структура:			Планировочная структура:				Градостроительная организация:					Архитектура здания:				Дополнительные функции:				
		Деление на функциональные зоны	Полифункциональное пространство	Интелтуальная навигация	Комплексное обслуживание	Просторные объемы помещений	Досточность естественного освещения	Правильная организация функционального процесса	Доступность для МГН, особенных животных	Соблюдение санитарно-защитных зон	Пешеходная и транспортная доступность	Благоустройство (площади для животных и т.д.)	Допустимый % озеленения (для комфорта, снижения шума)	Геопластика рельефа	Стратегически равноудаленное расположение в городе	Современная архитектура	Экологичность	Использование природных материалов, мотивов	Сочетание с окружающей средой	Эмоциональные и визуальные связи	Кафе	Общественное пространство
1	Центр ухода за животными и общественный центр Южного Лос-Анджелеса																					
2	Мичиганская лига спасения животных																					
3	Ресурный центр для домашних животных																					
4	Ветеринарная больница Стаффорда																					
5	Ветеринарная служба Танасборна																					
6	Филадельфийская специализированная я и неотложная помощь животным																					
7	Отель для собак и кошек																					
8	Отель Dog Rock																					
9	Полицейский кинологический центр																					
10	Образовательная школа для собак, людей и других видов																					
11	Центр приюта для животных																					
12	Центр по уходу за животными в Палм-Спрингс																					
13	Центр переселения животных Блэктауна																					
14	Крематорий для домашних животных «Охотничьи уголья»																					
15	Приют для животных и крематорий для домашних животных Ломмель																					

**Рис. 3. Матрица соотношений зарубежного опыта проектирования объектов для домашних и бездомных животных**  
**Fig. 3. Matrix of correlations of foreign experience in designing facilities for pets and homeless animals**

Матричный анализ отечественных объектов для домашних и бездомных животных также послужил основой для выявления принципов идеальной модели многопрофильного центра. В контексте отечественного опыта матрица позволила увидеть проблемы развития объектов зоосферы на территории Российской Федерации.

Так, среди отечественных объектов для домашних и бездомных животных по показателям с учетом важных аспектов проектирования в отношении животных образцовым стал Центр реабилитации животных «Юна». Стоит отметить, что у всех остальных рассматриваемых проектов довольно низкие показатели по всем критериям, что дает среднюю оценку ниже

нормы (рис. 4).

Таким образом, по двум проанализированным матрицам более высокими показателями качества среды и благоустройства территории обладают объекты для домашних и бездомных животных зарубежного опыта.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам матричного анализа можно предположить, что зарубежные аналоги объектов исследования лучше адаптированы для оказания услуг по уходу и жизнеобеспечению домашних питомцев.

Кроме того, зарубежные аналоги более комфортны для взаимодействия людей и их питомцев. На основе данных матрицы осуществлена выборка наилучших прототипов

для исследования с целью формирования отечественной модели развития многофункцио-

нальных объектов. Из представленных объектов у всех в среднем оценка 4,4 из 5 (табл. 1).

№	Название объекта исследования	Функциональная структура:			Планировочная структура:					Градостроительная организация:					Архитектура зданий:				Дополнительные функции:			
		Деление на функциональные зоны	Полифункциональное пространство	Игитивная навигация	Комплексное обслуживание	Просторные объемы помещений	Доступность естественного освещения	Правильная организация функционального процесса	Доступность для МПН, особых животных	Соблюдение санитарно-защитных зон	Пешеходная и транспортная доступность	Благоустройство (площадки для животных и т.д.)	Допустимый % озеленения (для комфорта, снижения шума)	Геопластика рельефа	Стратегически равноудаленное расположение в городе	Современная архитектура	Экологичность	Использование природных материалов, мотивов	Сочетание с окружающей средой	Эмоциональные и визуальные связи	Кафе	Общественное пространство
1	Центр реабилитации животных «Юна»																					
2	Многофункциональный ветеринарный центр Skolkovo Vet																					
3	Многопрофильный ветеринарный центр МВЦ "Два Сердца"																					
4	Ветеринарная клиника «Зверополис»																					
5	Здание при ветеринарной клинике, Люберцы																					
6	Ветеринарный центр «Биоконтроль»																					
7	Зоогостиница для животных «Атаман»																					
8	Зоогостиница «Топту»																					
9	Центр кинологической службы УВД																					
10	Центр Кинологического Развития NEVA																					
11	Приют для бездомных животных, Белгород																					
12	Городской приют для бездомных животных, Ноябрьск																					
13	Приют для животных в Заводском районе, Саратов																					
14	Ветритуал, Москва																					
15	Крематорий для домашних животных в Казани																					

**Рис. 4. Матрица соотношений отечественного опыта проектирования объектов для домашних и бездомных животных**

**Fig. 4. Matrix of correlations of domestic experience in designing facilities for pets and stray animals**

**Таблица 1. Результаты анализа матрицы зарубежных объектов для домашних и бездомных животных**

**Table 1. Results of analyzing the matrix of foreign facilities for pets and stray animals**

Название объекта исследования	Среднее
Центр переселения животных Блэктауна / Sam Crawford Architects	4,8
Ресурсный центр для домашних животных / РА-ДА	4,7
Мичиганская лига спасения животных / PLY+	4,5

Центр переселения животных Блэктауна (Австралия) состоит из нескольких зданий яркого цвета, похожих на шесть пальцев, которые соединяются с природой, создавая безопасный и гостеприимный приют для животных, способствующий их пристраиванию. Здания соединены крытыми переходами.

Такая планировочная структура позволяет соблюдать санитарно-эпидемиологические нормы в условиях карантина. Кроме того, такая планировочная система позволяет оказывать одни и те же ветеринарные услуги разным видам питомцев, и реализовывать индивидуальные программы дрессировки и воспитания питомцев [23, 24].

В Ресурсном центре для домашних животных (США) находится медицинский центр для проходящих через него животных и местных спасателей, общественный центр, в котором проводятся мероприятия для местных жителей, и центр поддержки для всех приемных родителей и животных.

В Мичиганской лиге спасения животных (США) воплотили четыре цели проектирования: интеграция естественного освещения для всех животных, обеспечение свободы выбора перемещения во всех помещениях для животных, разработка механических систем для

оздоровительного центра, отдавая приоритет скорости воздухообмена и тепловому комфорту, способствованию визуальной связи с важностью хорошего самочувствия с помощью цвета [25, 26].

Результаты исследования матрицы отечественного опыта показали основные проблемы в развитии объектов для домашних и бездомных животных в России: отсутствие необходимого количества помещений и процедур для животных, удовлетворяющих спрос потребителей, объекты чаще всего имеют малое пространство, так как располагаются на первых этажах жилых домов, внешний облик и интерьер имеют низкий эстетический уровень.

Представлены наиболее удачные отечественные примеры и их средние оценки по критериям, которые выше среднего показателя по всем участвующим в анализе объектам – более 4,0 (табл. 2). Стоит отметить, что ни один пример не набрал средней оценки более 4,5, в отличие от зарубежного опыта. А средние оценки большинства примеров и того меньше 4, что говорит об отсутствии опыта проектирования и строительства новых типов зданий зоосферы, охватывающих сферу обслуживания городских животных и их владельцев, бездомных животных, а также организацию их досуга.

**Таблица 2.** Результаты анализа матрицы отечественных объектов для домашних и бездомных животных

**Table 2.** Results of analyzing the matrix of domestic facilities for pets and stray animals

Название объекта исследования	Среднее
Центр реабилитации животных «Юна»	4,4
Многофункциональный ветеринарный центр Skolkovo Vet	4,0
Ветеринарная клиника «Биоконтроль»	4,0

Центр реабилитации животных «Юна» – первый в России многофункциональный центр реабилитации животных, имеющий полный комплекс услуг по подготовке временно бездомных кошек и собак для проживания в домашних условиях: от лечения и стерилизации до кинологовической работы по адаптации к новым условиям жизни. Многофункциональный ветеринарный центр в г. Сколково интересен квадратной в плане формой с широко выступающими скатами кровли. Для обеспечения эффекта «парящей» кровли сразу под козырьком по всему периметру здания идет ленточное

остекление.

Ветеринарная клиника «Биоконтроль» одна из немногих имеет историю, так как ведет свою историю с 1965 г [27].

Таким образом, в результате матричного анализа зарубежного и отечественного опыта:

- произведена выборка эталонных объектов;
- изучены наиболее успешные архитектурно-планировочные решения;
- выявлены возможные сценарии комплексного функционирования объектов исследования;

– сформулированы ключевые закономерности и особенности в архитектурных решениях таких комплексов.

Для современных людей уже не актуальны маленькие помещения, отсутствие достаточного освещения, отсутствие площадок для выгула на территории и разброс услуг обслуживания для домашних животных по разным объектам по всему городу [28, 29].

Современная комфортная среда для объектов для домашних и бездомных животных – это про заботу об эмоциональном состоянии животных, просторные планировки, продуманное благоустройство территории [30, 31]. Принципы проектирования многопрофильного центра для домашних и бездомных животных, сформулированные по результатам комплексной оценки состояния существующих объектов для домашних и бездомных животных:

– комфортная функциональная структура: полифункциональное пространство, самодостаточность, гуманное отношение к животным, оптимизация процессов, четкое деление на функциональные зоны, понятная навигация;

– комфортная планировочная структура: просторные помещения, комплексное обслуживание;

– экологичность и энергоэффективность: использование экологичных материалов, использование вторсырья, зеленое строительство;

– развитая инфраструктура: пешеходная и транспортная доступность;

– подходящий архитектурный облик здания: сочетание с окружающей средой, связь с природой, эмоционально-визуальные связи;

– комфортная градостроительная организация: благоустройство территории (площадки для собак, зоны рекреации и т. д.), стратегически верное расположение в городе, достаточная площадь территории [30];

– комфортная ландшафтная организация: геопластика рельефа, обилие озеленения на территории и вокруг, связь с архитектурой зданий;

– интерактивность: вовлечение населения за счет дополнительных функций (выставки, волонтерская деятельность, конкурсы, соревнования) [31].

В итоге, сравнительный анализ помог определить эталонные объекты исследования и выявить наиболее эффективные решения с учетом основных факторов, развитию отечественных центров домашних и бездомных питомцев. Особое внимание авторы уделяют функциональной и пространственной организации су-

ществующих объектов исследования, ландшафтным и градостроительным условиям в которых существуют объекты исследования.

Таким образом, в сравнительном анализе зарубежного и отечественного опыта изучены возможности комплексного развития и дополнения существующих ветеринарных центров России. Также отмечены особенности, которые характерны для нашей страны и требуют сохранения и включения в разрабатываемые концепции будущих много функциональных комплексов для домашних и бездомных животных. Например, архитектурные особенности центра «Юна» или функцию подготовки бездомных собак не только к жизни с новым хозяином, но и возможной кинологической службе, или развитию популяризации котокафе и гостиц для домашних животных в частности, так называемых «соседских клубов».

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В дальнейшем полученные результаты исследования могут лечь в основу будущих проектов-концепций развития существующих объектов ветеринарной инфраструктуры.

Особое внимание в разработке архитектурно-планировочной модели развития существующих объектов исследования планируется уделить составу, последовательности и ограничениям по оказанию ветеринарных и кинологических услуг в подобных комплексах.

Так, например, сценарный подход поможет в разработке планировочной структуры при дополнении существующих ветеринарных клиник помещениями для услуг по уходу за питомцами, либо передержке, либо дрессировке и психологической помощи как людям, так и питомцам, по ветеринарному наблюдению и пристраиванию бездомных животных.

Сценарный подход поможет рационально дополнить многофункциональные комплексы такими не популярными, но необходимыми функциями как кремация домашнего любимца и прочими функциями с целью формирования центров замкнутого цикла жизнеобеспечения домашних животных. Вариативный подход, основанный на архитектурно-планировочном анализе эталонных проектов, поможет в аутентичной адаптации выявленных принципов, к архитектурно-пространственному развитию каждого объекта исследования с учетом сложившейся ландшафтно-градостроительной ситуации. Выявленные эталонные решения пространственной организации рассматриваемых комплексов помогут в построении оптимальной архитектурно-пространственной структуры объектов исследования.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Дзюба И.А. Влияние домашних животных на психологическое состояние людей и социальные взаимодействия // Вестник науки. 2019. Т. 1. № 10. С. 10–16. EDN: PRANXJ.
2. Антоха А.В., Линов В.К. Особенности проектирования и расположения ветеринарного центра в городе Санкт-Петербурге // Архитектурные сезоны в СПбГАСУ. Сборник материалов X Регионального творческого форума с международным участием (г. Санкт-Петербург, 14–17 апреля 2020 г.). СПб., 2020. С. 124–125. EDN: DTENIY.
3. Хижная А.В., Мальцева С.М., Рыжакова Е.В., Макарова Н.В. Потребность в домашних животных в системе потребностей современного человека // Азимут научных исследований: педагогика и психология. 2021. Т. 10. № 4. С. 237–240. <https://doi.org/10.26140/anip-2021-1004-0056>. EDN: TRHULB.
4. Фазлыева С.И., Гришина М.П. Актуальность формирования многопрофильного центра для домашних и бездомных животных в России // Архитектура. Реставрация. Дизайн. Урбанистика. 2023. № 2. С. 13–20. EDN: SNWXL1.
5. Narad A.V., Chaudhari V.J. Architectural Implications for Dogs // International Journal of Scientific Research and Management. 2021. Vol. 9. Iss. 4. P. 1–7. <https://doi.org/10.18535/ijstrm/v9i4.sh02>.
6. Zamanbekova Zh. Attitude towards Pets Based on Trends in the Pet Care Industry // Юный ученый. 2020. № 5. С. 26–28. EDN: ZMICOS.
7. Кукушкина Н.Н., Павленко Г.В. Проблемы и задачи архитектуры регионов средней полосы России на примере многофункционального центра для животных // Безопасный и комфортный город. Сб. научных трудов по материалам III Всеросс. науч.-практ. конф. (г. Орёл, 27 сентября 2019 г.). Орёл, 2019. С. 39–40. EDN: KFRULQ.
8. Валева С.М., Хафизов Р.Р. Принципы формирования функционально-планировочной структуры приютов для животных // Архитектон: известия вузов. 2022. № 4. С. 1–10. [https://doi.org/10.47055/1990-4126-2022-4\(80\)-6](https://doi.org/10.47055/1990-4126-2022-4(80)-6). EDN: DSIOAZ.
9. Робертус Ю.М. Архитектурно-типологические аспекты организации системы обслуживания животных в условиях города // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2007. № 3. С. 111–118. EDN: JUCZWL.
10. Weisser W.W., Hauck T.E. Animal-Aided Design – Planning For Biodiversity in the Built Environment by Embedding a Species' Life-Cycle Into Landscape Architectural and Urban Design Processes // Landscape Research. 2025. Vol. 50. Iss. 1. P. 146–167. <https://doi.org/10.1080/01426397.2024.2383482>.
11. Новак Д.А. Применение новейших и современных отделочных и теплоизолирующих материалов при проектировании ветеринарных центров // Актуальные исследования. 2021. № 48-1. С. 71–73. EDN: VRRTES.
12. Гришина М.П. Современные приемы моделирования процессов урбанизации природного ландшафта // Ландшафтная архитектура. Актуальные вопросы науки и практики. Материалы XX Всеросс. науч.-практ. конф. (г. Нижний Новгород, 20 марта 2024 г.). Нижний Новгород, 2024. С. 279–283. EDN: VWNSAK.
13. Коротаева Е.Д., Пронина Т.В. Мировые тенденции развития архитектуры инфраструктуры по обслуживанию домашних животных // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования – 2023. Сборник докладов IV Национальной научной конференции (г. Москва, 15 декабря 2023 г.). М., 2024. С. 507–513. EDN: HCNPQS.
14. King B., Duberstein A., Maureen McG. Dog Park Membership and Life Satisfaction among Older Adults // Innovation in Aging. 2021. Vol. 5. Iss. 1. P. 867.
15. Klinenberg E. Social Isolation, Loneliness, and Living Alone: Identifying the Risks for Public Health // American Journal of Public Health. 2016. Vol. 106. Iss. 5. P. 786–787. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2016.303166>.
16. Grishina M. Analysis of the Functional Planning Development of Cities in the USSR on the Example of Kazan // Proceedings of STCCE 2021. 2021. Vol. 169. P. 101–112. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-80103-8\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-030-80103-8_11).
17. Кудинова Л.Е. Архитектурные методы формирования приютов и комплексов социальных центров для животных // Бизнес и дизайн ревю. 2024. № 2. С. 111–128. EDN: VCVCAR.
18. Соснова О.В. Развитие архитектурных решений создания ветеринарных комплексов // Современные научные исследования и инновации. 2015. № 5-1. С. 100–103. EDN: UAERP.
19. Абдуллина А.М., Краснобаев И.В. Архитектурно-градостроительные аспекты развития биоразнообразия в городах на примере Казани // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. № 3. С. 97–104. EDN: YKVTAT.
20. Стадолин М.Е., Пичугина Е.Е. Проблемы развития современной городской инфраструктуры для содержания домашних животных // Муниципальная академия. 2023. № 4. С. 363–369. [https://doi.org/10.52176/2304831X\\_2023\\_04\\_363](https://doi.org/10.52176/2304831X_2023_04_363). EDN: NSYPSS.

21. Apfelbeck B., Snep R.P.H., Hauck T.E., Ferguson J., Holy M., Jakoby C. et al. Designing Wildlife-Inclusive Cities that Support Human-Animal Co-Existence // *Landscape and Urban Planning*. 2020. Vol. 200. P. 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103817>.
22. Hernandez-Santin C., Amati M., Bekessy S., Desha C. A Review of Existing Ecological Design Frameworks Enabling Biodiversity Inclusive Design // *Urban Science*. 2022. Vol. 6. Iss. 4. P. 1–27. <https://doi.org/10.3390/urbansci6040095>.
23. Hoy-Gerlach J., Ojha M., Arkow P. Social Workers in Animal Shelters: A Strategy Toward Reducing Occupational Stress Among Animal Shelter Workers // *Frontiers in Veterinary Science*. 2021. Vol. 8. P. 1–10. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.734396>.
24. Amaya V., Paterson M.B.A., Phillips C.J.C. Effects of Olfactory and Auditory Enrichment on the Behaviour of Shelter Dogs // *Animals*. 2020. Vol. 10. Iss. 4. P. 1–20. <https://doi.org/10.3390/ani10040581>.
25. Новак Д.А. История развития ветеринарных центров в России // *Актуальные исследования*. 2021. № 48-1. С. 68–70. EDN: BGNNSB.
26. Насыбулина Р., Самогоров В. Светопространство. Эволюция роли естественного света в архитектуре. Самара: TATLIN, 2020. 136 с.
27. Галимова Л.И., Галимов Ш.Ш. Проблемы развития гостиниц для животных // *Инновации и инвестиции*. 2022. № 3. С. 45–49. EDN: LJFRQX.
28. Федык Л.А., Пундель И.С., Гусева Г.С., Ульянченко Н.А., Крупина О.Б. Качество ветеринарных услуг // *Компетентность*. 2022. № 7. С. 37–41. <https://doi.org/10.24412/1993-8780-2022-7-37-41>. EDN: FLSSQS.
29. Ульянов Д.С., Петрова О.Г., Елесин А.В., Шушарин А.Д., Семенова Н.Н., Скорынина Е.В. Научное обоснование и совершенствование организационно-методических основ системы реабилитации животных // *Аграрный вестник Урала*. 2016. № 12. С. 62–64. EDN: XWQVST.
30. Ряжских М.В., Лиханский Ю.И. Анализ зарубежного опыта проектирования площадок для свободного выгула собак // *Архитектура и дизайн: история, теория, инновации*. 2022. № 6. С. 128–134. EDN: CBXBDQ.
31. Фазлыева С.И., Гришина М.П. Ландшафтные аспекты в проектировании многопрофильных центров для домашних и бездомных животных в России // *Ландшафтная архитектура. Актуальные вопросы науки и практики. Материалы XX Всеросс. науч.-практ. конф. (г. Нижний Новгород, 20 марта 2024 г.)*. Нижний Новгород, 2024. С. 306–309. EDN: XLAXRV.

#### REFERENCES

1. Dzyuba I.A. The Influence of Pets on People's Psychological State and Social Interactions. *Vestnik nauki*. 2019;1(10):10-16. (In Russ.). EDN: PRANXJ.
2. Antokha A.V., Linov V.K. Design and Location Features Veterinary Center in St. Petersburg. In: *Arkhitekturnye sezony v SPBGASU. Sbornik materialov X Regional'nogo tvorcheskogo foruma s mezhdunarodnym uchastiem = Architectural Seasons at SPbGASU. Collection of Materials from the 10th Regional Creative Forum with International Participation*. 14–17 April 2020, Saint Petersburg. Saint Petersburg; 2020. P. 124–125. (In Russ.). EDN: DTENIY.
3. Khizhnaya A.V., Maltseva S.M., Ryzhakova E.V., Makarova N.V. The Need for Pets in the System of Needs of the Modern Human. *Azimut of Scientific Research: Pedagogy and Psychology*. 2021;10(4):237-240. (In Russ.). <https://doi.org/10.26140/anip-2021-1004-0056>. EDN: TRHULB.
4. Fazlyeva S.I., Grishina M.P. Relevance of the Formation of a Multidisciplinary Center for Pets and Stray Animals in Russia. *Architecture. Restoration. Design. Urban Science*. 2023;2:13-20. (In Russ.). EDN: SNWXLl.
5. Narad A.V., Chaudhari V.J. Architectural Implications for Dogs. *International Journal of Scientific Research and Management*. 2021;9(4):1-7. <https://doi.org/10.18535/ijrm/v9i4.sh02>.
6. Zamanbekova Zh. Attitude towards Pets Based on Trends in the Pet Care Industry. *Yunyi uchenyi*. 2020;5:26-28. EDN: ZMICOS.
7. Kukushkina N.N., Pavlenko G.V. Architecture of a Safe Eco-Positive Environment for Life of People. Problems and Objectives of the Architecture of the Regions of the Middle Strip of Russia on the Example of a Multifunctional Center for Animals. In: *Bezopasnyi i komfortnyi gorod. Sbornik nauchnykh trudov po materialam III Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = A Safe and Comfortable City. A Collection of Scientific Papers Based on the Proceedings of the III All-Russian Scientific and Practical Conference*. 27 September 2019, Oryol. Oryol; 2019. P. 39–40. (In Russ.). EDN: KFRULQ.
8. Valeeva S.M., Khafizov R.R. Principles of Developing the Functional Planning Structure of an Animal Shelter. *Architecton: Proceedings of Higher Education*. 2022;4:1-10. (In Russ.). [https://doi.org/10.47055/1990-4126-2022-4\(80\)-6](https://doi.org/10.47055/1990-4126-2022-4(80)-6). EDN: DSIOAZ.
9. Robertus J.M. Architectural and Typological Aspects of the Organization of Service Facilities for Animals in Urban Environments. *Journal of Construction and Architecture*. 2007;3:111-118. (In Russ.). EDN: JUCZWL.
10. Weisser W.W., Hauck T.E. Animal-Aided Design – Planning For Biodiversity in the Built Environment by

- Embedding a Species' Life-Cycle Into Landscape Architectural and Urban Design Processes. *Landscape Research*. 2025;50(1):146-167. <https://doi.org/10.1080/01426397.2024.2383482>.
11. Novak D.A. Application of the Latest and Modern Finishing and Thermal Insulation Materials in the Design of Veterinary Centers. *Aktualnye issledovaniya*. 2021;48-1:71-73. (In Russ.). EDN: VRRTES.
12. Grishina M.P. Modern Methods of Modeling the Processes of Urbanization of the Natural Landscape. In: *Landshaftnaya arkhitektura. Aktualnye voprosy nauki i praktiki. Materialy XX Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Landscape Architecture. Current Issues of Science and Practice. Proceedings of the XX All-Russian Scientific and Practical Conference*. 20 March 2024, Nizhny Novgorod. Nizhny Novgorod; 2024. P. 279–283. (In Russ.). EDN: VWNSAK.
13. Korotaeva E.D., Pronina T.V. Global Trends in the Development of Infrastructure Architecture for Servicing Pets. In: *Aktualnye problemy stroitel'noi otrasli i obrazovaniya – 2023. Sbornik dokladov IV Natsional'noi nauchnoi konferentsii = Actual Problems of the Construction Industry and Education – 2023. Collection of Reports of the IV National Scientific Conference*. 15 December 2023, Moscow. Moscow; 2024. P. 507–513. (In Russ.). EDN: HCNPQS.
14. King B., Duberstein A., Maureen McG. Dog Park Membership and Life Satisfaction among Older Adults. *Innovation in Aging*. 2021;5(1):867.
15. Klinenberg E. Social Isolation, Loneliness, and Living Alone: Identifying the Risks for Public Health. *American Journal of Public Health*. 2016;106(5):786-787. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2016.303166>.
16. Grishina M. Analysis of the Functional Planning Development of Cities in the USSR on the Example of Kazan. *Proceedings of STCCE 2021*. 2021;169:101-112. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-80103-8\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-030-80103-8_11).
17. Kudinova L.E. Architectural Methods of Forming Shelters and Complexes of Social Centers for Animals. *Biznes i dizain revyu*. 2024;2:111-128. (In Russ.). EDN: VCVCAR.
18. Sosnova O.V. Development of Architectural Solutions in Veterinary Complexes Creation. *Modern Scientific Researches and Innovations*. 2015;5-1:100-103. (In Russ.). EDN: UAERPN.
19. Abdullina A.M., Krasnobaev I.V. Architectural and Urban Planning Aspects of Biodiversity Development in the Cities on the Example of Kazan. *News of the Kazan State University of Architecture and Engineering*. 2018;3:97-104. (In Russ.). EDN: YKVTAT.
20. Stadolin M.E., Pichugina E.E. Problems of Development of Modern Urban Infrastructure for Keeping Pets. *Municipal Academy*. 2023;4:363-369. (In Russ.). [https://doi.org/10.52176/2304831X\\_2023\\_04\\_363](https://doi.org/10.52176/2304831X_2023_04_363). EDN: NSYPSS.
21. Apfelbeck B., Snep R.P.H., Hauck T.E., Ferguson J., Holy M., Jakoby C. et al. Designing Wildlife-Inclusive Cities that Support Human-Animal Co-Existence. *Landscape and Urban Planning*. 2020;200:1-11. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103817>.
22. Hernandez-Santin C., Amati M., Bekessy S., Desha C. A Review of Existing Ecological Design Frameworks Enabling Biodiversity Inclusive Design. *Urban Science*. 2022;6(4):1-27. <https://doi.org/10.3390/urban-sci6040095>.
23. Hoy-Gerlach J., Ojha M., Arkow P. Social Workers in Animal Shelters: A Strategy Toward Reducing Occupational Stress Among Animal Shelter Workers. *Frontiers in Veterinary Science*. 2021;8:1-10. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.734396>.
24. Amaya V., Paterson M.B.A., Phillips C.J.C. Effects of Olfactory and Auditory Enrichment on the Behaviour of Shelter Dogs. *Animals*. 2020;10(4):1-20. <https://doi.org/10.3390/ani10040581>.
25. Novak D.A. History of Development of Veterinary Centers in Russia. *Aktualnye issledovaniya*. 2021;48-1:68-70. (In Russ.). EDN: BGNNSB.
26. Nasybulina R., Samogorov V. *Light Space. The Evolution of the Role of Natural Light in Architecture*. Samara: TATLIN, 2020. 136 p. (In Russ.).
27. Galimova L.I., Galimov Sh.Sh. Problems of Development of Hotels for Animals. *Innovation & Investment*. 2022;3:45-49. (In Russ.). EDN: LJFRQX.
28. Fedyk L.A., Pundel I.S., Guseva G.S., Ulyanchenko N.A., Krupina O.B. Quality of Veterinary Services. *Kompetentnost*. 2022;7:37-41. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/1993-8780-2022-7-37-41>. EDN: FLSSQS.
29. Ulyanov D.S., Petrova O.G., Elesin A.V., Shusharin A.D., Semenova N.N., Skorynina E.V. Scientific Basis and Development of Organizational and Methodical Foundations of Rehabilitation System for Animals. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2016;12:62-64. (In Russ.). EDN: XWQVST.
30. Ryazhskikh M.V., Lihansky Yu.I. Analysis of Foreign Experience in Designing Dog Off-Leash Area. *Arkhitektura i dizain: istoriya, teoriya, innovatsii*. 2022;6:128-134. (In Russ.). EDN: CBXBDQ.
31. Fazlyeva S.I., Grishina M.P. Landscape Aspects in the Design of Multidisciplinary Centers for Domestic and Stray Animals in Russia. In: *Landshaftnaya arkhitektura. Aktualnye voprosy nauki i praktiki. Materialy XX Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Landscape Architecture. Current Issues of Science and Practice. Materials of the XX All-Russian Scientific and Practical Conference*. 20 March 2024, Nizhny Novgorod. Nizhny Novgorod; 2024. P. 306–309. (In Russ.). EDN: XLAXRV.

**Информация об авторах**

**Фазлыева Сабина Ильнуровна**,  
архитектор, Акционерное общество  
«Казанский Гипрониавиапром имени  
Б.И. Тихомирова»,  
420127, Республика Татарстан, г. Казань,  
ул. Дементьева, д. 1, Россия,  
✉e-mail: Sabina-Milashka@mail.ru  
<https://orcid.org/0009-0002-6183-7309>  
Author ID: 1285625

**Гришина Мария Павловна**,  
кандидат архитектуры, доцент  
Казанский государственный  
архитектурно-строительный университет,  
420061, Республика Татарстан, г. Казань,  
ул. Калинина 43, Россия,  
e-mail: grishinih@yandex.ru.  
<https://orcid.org/0000-0001-8234-8403>  
Author ID: 855287

**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 02.06.2025.  
Одобрена после рецензирования 07.07.2025.  
Принята к публикации 21.07.2025.

**Information about the authors**

**Sabina I. Fazlyeva**,  
Architect,  
Joint Stock Company Kazan Giproniaviaprom  
named after B.I. Tikhomirov,  
1 Dementieva St., Republic of Tatarstan,  
Kazan 420127, Russia,  
✉e-mail: Sabina-Milashka@mail.ru  
<https://orcid.org/0009-0002-6183-7309>  
Author ID: 1285625

**Maria P. Grishina**,  
Cand. of Architecture, Associate Professor,  
Kazan State University of Architecture and Civil  
Engineering,  
43 Kalinina St., Republic of Tatarstan, Kazan  
420061, Russia,  
e-mail: grishinih@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-8234-8403>  
Author ID: 855287

**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 02.06.2025.  
Approved after reviewing 07.07.2025.  
Accepted for publication 21.07.2025.

**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 Excel*, с приложением файлов.

Для построения графиков и диаграмм следует использовать программу *Microsoft Office Excel*. Каждый рисунок вставляется в текст как объект *Microsoft Office Excel*.

**Внимание! Публикация статьи является бесплатной.**

## Для авторов / For authors

---

Статьи направляются в редакцию журнала по электронной почте [izv\\_isn@istu.edu](mailto: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 № 4 (55)**

Главный редактор В.В. Пешков  
Ответственный за выпуск О.В. Никишина  
Дизайн и макет издания Е.В. Хохрина  
Перевод и 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 29.12.2025. Формат 60 x 90 / 8 (А4).  
Бумага офсетная. Печать цифровая. Усл. печ. л. 22,50.  
Тираж 500 экз. Зак. 111. 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

---