

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

12+



IZVESTIYA VUZOV
Investitsii
Stroitelstvo
Nedvizhimost

ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ
ИНВЕСТИЦИИ
СТРОИТЕЛЬСТВО
НЕДВИЖИМОСТЬ

Том 14 № 4
2024

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 14 № 4
Vol.



ИЗДАТЕЛЬСТВО
Иркутского национального исследовательского
технического университета

PUBLISHERS
of Irkutsk National Research Technical University
2024



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 Минобрнауки России

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

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

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

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

Учредитель-издатель:

ФГБОУ ВО Иркутский национальный исследовательский технический университет

Подписной индекс в ООО «Урал-Пресс» - 41511

Адрес ООО «Урал-Пресс»:

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

Адрес учредителя, издателя и редакции:

664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

e-mail: izv_isn@istu.edu

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Founder, publisher: FSBEIHE Irkutsk National Research Technical University

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

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

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

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

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

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

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

Большаков А.Г., доктор архитектуры, профессор, заведующий кафедрой архитектурного проектирования Иркутского национального исследовательского технического университета, Советник РААСН (г. Иркутск, Российская Федерация)

Вальтер Фогт, доктор технических наук, специалист по планированию транспорта университета г. Штутгарт (г. Штутгарт, Федеративная Республика Германия)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Кузьмин М.И., доктор геолого-минералогических наук, профессор, академик РАН, лауреат Демидовской премии, Институт геохимии СО РАН, советник РАН (г. Иркутск, Российская Федерация)

Леонард Шенк, доктор архитектуры, профессор факультета архитектуры и дизайна Констанцского университета (г. Констанц, Федеративная Республика Германия)

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

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

Матвеева М.В., доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры экспертизы и управления недвижимостью Иркутского национального исследовательского технического университета, Советник РААСН (г. Иркутск, Российская Федерация)

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

Новицкий Н.Н., доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, зав. лаб. Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН (г. Иркутск, Российская Федерация)

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

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

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

Урханова Л.А., доктор технических наук, профессор кафедры производства строительных материалов и изделий Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления (г. Улан-Удэ, Республика Бурятия, Российская Федерация)

Фань Фэн, профессор, советник ректора, Харбинский политехнический университет, заместитель исполнительного директора Ассоциации технических университетов России и Китая (г. Харбин, Китай)

Федюк Р.С., доктор технических наук, доцент Дальневосточного федерального университета, Советник РААСН (г. Владивосток, Российская Федерация)

Фолькер Циглер, доктор архитектуры, профессор, заведующий кафедрой городского планирования и проектирования Страсбургской архитектурной школы (г. Страсбург, Французская Республика)

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

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

Яськова Н.Ю., доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой инвестиционно-строительного бизнеса РАНХИГС при президенте РФ. (г. Москва, Российская Федерация)

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 (Irkutsk, Russian Federation)

Chupin V.R., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Urban Development and Municipal Economy of Irkutsk National Research Technical University (Irkutsk, Russian Federation)

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, Corresponding member of RAACS, Professor of Engineering School of Far Eastern Federal University (Vladivostok, Russian Federation)

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

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

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

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

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, Academician of RAACS, Head of the Department of Building Materials and Technologies of National Research Mordovian State University named after N.P. Ogareva (Saransk, Republic of Mordovia, Russian Federation)

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

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, Russian Federation)

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

Kuzmin M.I., Doctor of Geological and Mineral Sciences, Professor, Academician of Russian Academy of Sciences, Winner of Demidov Award, Institute of Geochemistry of SB RAS, Advisor of the Russian Academy of Sciences (Irkutsk, Russian Federation)

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, Foreign Academician of RAACS, 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" (Minsk, Byelorussia)

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

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

Novitskii N.N., Doctor of Technical Sciences, professor, Chief Scientific Researcher of the Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Irkutsk, Russian Federation)

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

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

Stennikov V.A., Doctor of Technical Sciences, Professor, corresponding member of Russian Academy of Sciences, 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 (Irkutsk, Russian Federation)

Urkanova L.A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Production of Building Materials and Units of East-Siberian State Technological University (Ulan Ude, Republic of Buryatia, Russian Federation)

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, Russian Federation)

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, Advisor of RAACS, Corresponding Member of the Academy of Arts, Head of the Department of Theory of Architecture and Professional Communications, Urals State Architectural-Artistic University (Yekaterinburg, Russian Federation)

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

Yaskova N.Yu., Doctor of Economical Sciences, Professor, Professor of the Department of Economics and management in construction of Moscow State Construction University (Moscow, Russian Federation)

СОДЕРЖАНИЕ

Известия вузов
Инвестиции. Строительство. Недвижимость

Том 14 № 4 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

- Черепанова М.С.** Анализ и оценка ресурсной базы авиастроительного комплекса России и выявление экономического потенциала в управлении недвижимостью из состава непрофильных активов 684

СТРОИТЕЛЬСТВО

- Йоше А.К., Сутырина Е.Н., Чупин В.Р., Шелехов И.Ю.** Оценка антропогенного суммарного испарения с помощью спутников GRACE в водосборном бассейне озера Байкал (англ.) 695
- Байбурин А.Х., Самарин А.Ю.** Оценка рисков ошибок проектирования 708
- Василевич Э.Э., Лавыгина О.Л., Дударев В.И.** Современное состояние канализационных очистных сооружений на севере Иркутской области 719
- Журавлев А.Е., Пешков А.В.** Рекомендации по эксплуатации жилых помещений как путь повышения надежности и безопасности 727
- Кармалов А.И., Сколубович Ю.Л., Чупин Р.В., Мелехов Е.С.** Исследование процессов вторичного минералообразования в водопроводных скважинах питьевого назначения 735
- Краснояров Н.А., Дмитриева Т.Л., Соболев В.И.** Контроль деформаций металлических конструкций в строительстве: методы и технологии 746
- Кульков В.Н., Солопанов Е.Ю.** Применение каркасной загрузки для формирования иммобилизованного биоценоза в аэротенке 753
- Пшидаток М. А., Маций С. И.** Планово-предупредительные работы на автомобильных дорогах 764
- Соболев В.И., Кармазинов Д.А., Черниговская Т.Н.** Совмещение параметрической дискретности и непрерывности в анализе динамических моделей сооружений 777
- Чернышов Л.Н., Смолина Л.Ф., Калгушкин А.Г.** Предпосылки подготовки профильных специалистов для эксплуатационного этапа жизненного цикла зданий, строений, сооружений 787

АРХИТЕКТУРА. ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. ДИЗАЙН

- Бобрышев Д.В., Усачева В.В.** Градостроительные предпосылки развития туристско-рекреационного потенциала Иркутской области 797
- Саландаева О.И., Пуляевская Е.В.** Динамика архитектурно-градостроительного формирования Южного Прибайкалья 810
- Хакова А.Г., Козлов В.В.** Принципы интеграции современных мусороперерабатывающих производств в структуре крупных городов 823
- Шабиев С.Г., Квач В.А., Моисеева Е.Д.** Современный православный храм в г. Калининграде как объект деревянного культового зодчества 832

CONTENTS

Proceedings of Universities Investment. Construction. Real estate

Том 14 № 4 2024

CONTENTS

ECONOMICS AND MANAGEMENT

- Cherepanova M.S.** Economic potential in the management of real estate from non-core assets of the Russian aircraft building complex: Analysis and assessment of the resource base 684

CONSTRUCTION

- Yoshe A.K., Sutyryna E.N., Chupin V.R., Shelekhov I.Yu.** Assessment of human-induced evapotranspiration with grace satellites in the catchment area of lake Baikal 695
- Baiburin A.Kh., Samarin A.Yu.** Risk assessment of design faults 708
- Vasilevich E.E., Lavygina O.L., Dudarev V.N.** Wastewater treatment facilities in the north of the Irkutsk Oblast: the current state 719
- Zhuravlev A.E., Peshkov A.V.** Recommendations for the operation of residential premises as a way to enhance their reliability and safety 727
- Karmalov A.I., Skolubovich Y.L., Chupin R.V., Melekhov E.S.** Investigation of secondary mineral formation in potable water intake wells 735
- Krasnoyarov N.A., Dmitrieva T.L., Sobolev V.I.** Control of deformations in metal structures in construction: methods and technologies 746
- Kulkov V.N., Solopanov E.Yu.** Application of frame loading for forming immobilized biocenosis in aeration tanks 753
- Pshidatok M.A., Matsiy S.I.** Preventive maintenance on highway roads 764
- Sobolev V.I., Karmazinov D.A., Chernigovskaya T.N.** Combining parametric discreteness and continuity for analyzing dynamic models of structures 777
- Chernyshov L.N., Smolina L.F., Kalgushkin A.G.** Prerequisites for the training of specialists in the operational phase of the life cycle of buildings, structures, and facilities 787

ARCHITECTURE. URBAN CONSTRUCTION. DESIGN

- Bobryshev D.V., Usacheva V.V.** Urban planning preconditions for the development of tourist and recreational potential of the Irkutsk region 797
- Salandaeva O.I., Puliaevskaia E.V.** Dynamics of architectural and urban development of the Southern Baikal region 810
- Khakova A.G., Kozlov V.V.** Principles of integrating modern waste processing facilities into the structure of large cities 823
- Shabiev S.G., Kvach V.A., Moiseeva E.D.** Modern Orthodox church in Kaliningrad as an object of wooden church architecture 832



Анализ и оценка ресурсной базы авиастроительного комплекса России и выявление экономического потенциала в управлении недвижимостью из состава непрофильных активов

М.С. Черепанова^{1✉}

¹Байкальский государственный университет, г. Иркутск, Россия

Аннотация. В статье представлен анализ структуры и обзор размещения объектов недвижимости в составе непрофильных активов предприятий авиастроительной отрасли на примере российской ПАО «Объединенной авиастроительной корпорации». Целью исследования является выявление экономического потенциала в управлении непрофильными активами. Так, были выявлены некоторые качественные и количественные особенности структуры активов, отмечена их высокая концентрация в некоторых регионах России, что визуальное представлено в виде географических карт. В качестве метода исследования использовался картографический метод. Была проведена попытка оценки всей ресурсной базы авиастроительного комплекса России в контексте выявления трендов в сфере управления имущественным комплексом. Было выявлено, что имеются тренды, связанные с географическими, историческими особенностями и с кадровыми ресурсами. В качестве материалов были использованы данные, размещенные на официальном сайте ПАО «Объединенной авиастроительной корпорации». Результаты и некоторые выводы данной работы в дальнейшем могут послужить проведению более детального анализа состава имущества авиаотрасли, оценке зависимости структуры активов от типа предприятия и объемов производимой продукции, ее стоимости как показателя качественной характеристики, определения корреляционных связей и средне-достаточной для покрытия потребностей гражданской и воздушно-космической авиации с целью формирования стратегии управления ресурсной базой в части лишних непрофильных активов.

Ключевые слова: имущественный комплекс авиастроительного предприятия, управление недвижимостью, управление недвижимостью авиастроительного предприятия, непрофильные активы, структура непрофильных активов, ресурсная база авиастроительного комплекса

Для цитирования: Черепанова М.С. Анализ и оценка ресурсной базы авиастроительного комплекса России и выявление экономического потенциала в управлении недвижимостью из состава непрофильных активов // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 4. С. 684–694. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-4-684-694>. EDN: WJBIBM.

Original article

Economic potential in the management of real estate from non-core assets of the Russian aircraft building complex: Analysis and assessment of the resource base

Maria S. Cherepanova^{1✉}

¹Baikal State University, Irkutsk, Russia

Abstract. The paper analyzes the structure and overview of real estate object location in the non-core assets of the enterprises of the aircraft industry on the example of The United Aircraft Corporation (Russia). The study aims to identify the economic benefits in the management of non-core assets. In particular, some qualitative and quantitative features of the asset structure were determined. Using the cartographic method, a high concentration of assets in some regions of Russia was noted, which is visually represented in the form of geographical maps. In the context of identifying trends in the property complex

© Черепанова М.С., 2024

management, the entire resource base of the Russian aircraft industry was assessed. Some of the trends were found to be related to geographical, historical peculiarities as well as to human resources. The data posted on the official website of United Aircraft Corporation PJSC were used for the study. The results and some conclusions of this work can further serve as a more detailed analysis of the composition of the aircraft industry assets. Moreover, in order to form a management strategy for the resource base in terms of excess non-core assets, it is possible to assess the dependence of the asset structure on the enterprise type and the volume of manufactured products, its cost as an indicator of qualitative characteristics, as well as to determine correlations and average sufficiency to cover the needs of civil and aerospace aviation.

Keywords: property complex of an aircraft manufacturing enterprise, real estate management, real estate management of an aircraft manufacturing enterprise, non-core assets, structure of non-core assets, resource base of an aircraft manufacturing complex

For citation: Cherepanova M.S. Economic potential in the management of real estate from non-core assets of the Russian aircraft building complex: Analysis and assessment of the resource base. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(4): 684-694. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-4-684-694>. EDN: WJBIBM.

ВВЕДЕНИЕ

Сфера авиастроения в России является производителем сложной, наукоемкой продукции и, подтягивая технический уровень своих многочисленных смежников, способствует безопасности и росту технологической культуры нашей страны, обеспечивает технологический суверенитет.

ПАО «Объединенная авиастроительная корпорация» (ПАО «ОАК»), ее дочерние и зависимые общества (ДЗО или Корпорация) объединяют большое количество компаний авиапромышленного комплекса, расположенных от г. Москвы до Дальнего Востока [1], представляя научный интерес к исследованию такого неоднородного имущественного комплекса.

Цель исследования – выявить и охарактеризовать структуру непрофильной недвижимости авиастроительного комплекса на примере непрофильных активов Корпорации.

Основной задачей является попытка выявить зависимость наличия таких активов от типа развития предприятия.

МЕТОДЫ

Для выработки научно обоснованных решений в сфере управления имущественным комплексом отрасли необходимо комплексное представление о состоянии основных фондов с одной стороны и о скопившемся потенциале ненужных, «отягощающих» активов – с другой [2–5].

Первый аспект изучается в контексте эффективности восстановления производственного потенциала российской авиапромышленности, которая была частично утрачена в результате кризисных явлений [6–9]. Так, в исследовании производственного потенциала

предприятий авиастроения ряд авторов исследует проблему физического износа пассивной части основных фондов: «...степень износа зданий производственного назначения, занимаемых предприятиями авиастроительной отрасли, составляет от 30 % до 87 %; административных зданий – от 12 % до 87 %; инженерных коммуникаций – от 9 % до 65 %» [10].

Разработка темы управления непрофильными активами авиаотрасли в отечественной научной литературе низкая – ряд исследований посвящен управлению имущественными комплексами предприятий ОПК, в том числе государственной корпорации «Ростех», в состав которой входит ПАО «ОАК».

В своем исследовании Мусатова Мария Михайловна отмечает необходимость оптимизации производственных площадей ПАО и следующее: «...в собственности “ОАК” находятся гигантские производственные мощности, несопоставимые с количеством выпускаемых самолетов».

Так, производственные площади заводов “ОАК” составляли свыше 40 млн м², у Boeing – менее 10 млн м², а у Airbus – порядка 15 млн м². При том, что американские и европейские производители выпускают ежегодно по 800 самолетов всех типов, “ОАК” производит примерно 150» [11].

Существуют ряд научных работ по непрофильным активам предприятий других отраслей промышленности [12].

Научных работ по заявленной теме нам не известно.

В этой связи было принято решение о подготовке научных исследований, освещающих обзор структуры непрофильных активов

авиастроительной отрасли, а также алгоритмы их реализации [13, 14], обзор активов отрасли автомобилестроения в период структурных изменений [15]; был проведен анализ материалов конференций [16, 17], обзор новостных лент, документов, размещенных на официальном сайте авиакорпорации, заявлений официальных лиц. Помимо перечисленного, работа опирается на научный труд российского экономиста-географа.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На прошедшей недавно IX конференции «Цифровая индустрия промышленной России» директор ПАО «ОАК» Юрий Слюсарь озвучил планы по созданию отраслевой цифровой среды для проектирования, испытаний и производства авиационной техники на базе отечественных программных продуктов¹.

В том числе им был упомянут один проект – разработка и внедрение импортонезависимой СУР-платформы (системы управления ресурсами) тяжелого класса для авиастроения, в контур которой будут включены модули по управлению материально-техническими ресурсами.

Решение проектируется на платформе 1С. В дополнение к этому, на официальном сайте опубликована заметка, в которой обозначены некоторые тезисы из обновленной стратегии развития Корпорации до 2035 г., а именно: «...общий эффект от реализации мер по повышению эффективности основного персонала <...> высвобождения площадей и продажи непрофильных активов “ОАК” оценивает на горизонте до 2035 г. в более чем 700 млрд руб.».

Представленные факты и заявления официальных лиц о том, что в рамках проводимых улучшений в части корпоративной трансформации происходит централизация управления предприятиями с целью исключения дублирующих административных функций, косвенно свидетельствуют о принимаемых мерах в части управления имущественным комплексом Корпорации на фундаментальном уровне².

Исходными материалами для анализа стали документы, размещенные на официальном сайте ПАО «ОАК»:

1. Программа реализации непрофильных активов на период с 2018 по 2020 г.

2. Сводный реестр непрофильных активов, подлежащих отчуждению в период с 2018 по 2020 г.

3. Распределение поступлений от реализации непрофильных активов по годам с 2018 по 2020 г.

Непрофильные активы, согласно программе и методическим рекомендациям по выявлению и отчуждению непрофильных активов, утвержденным распоряжением Правительства Российской Федерации от 10 мая 2017 года № 894-р.: «...активы, находящиеся в собственности Корпорации, в части основных средств (в том числе, земельные участки, строения, сооружения), не участвующие в основных и сопутствующих видах деятельности Корпорации»³.

Примем реестр активов и сценарий их реализации на период с 2018 по 2020 г. как самый очевидный и фактически осуществимый, т. к. альтернативной информации нами не обнаружено.

При анализе структуры активов двенадцати ДЗО выявлено следующее:

– один актив состоит из одного или нескольких объектов недвижимости, некоторые сложные активы включают до 100 объектов недвижимости (рис. 1);

– активами, состоящими из одного объекта недвижимости, являются в основном земельные участки, квартиры, незавершенные объекты строительства, здания и строения промышленного назначения;

– сложные активы включают в себя производственные комплексы, дома отдыха, гаражные кооперативы и другие комплексы, в составе которых находятся десятки объектов недвижимости.

Как итог, было выявлено 14 городов присутствия активов (рис. 2).

Лидером по количеству активов является ПАО «Компания “Сухой”» – 50 активов, включающих 267 объекта недвижимости. По количеству объектов недвижимости – АО «РСК “МиГ”» – 272 объекта недвижимости в составе 22 активов. Речь идет о социально-значимых объектах. АО «РСК “МиГ”» имеет многочисленный гаражный кооператив в г. Москве, а в активы ПАО «Компания “Сухой”» входят множество баз отдыха по всей России. Самыми небольшими оказались четыре организации, имеющие всего по одному активу: АО «Авиастар-СП», АО «ГСС», ПАО «Ил» и АО «ЭМЗ им В.М. Мясищева». Ниже представлены карты присутствия активов (рис. 3–6).

¹Цифровая индустрия промышленной России. Режим доступа: <https://cipr.ru/> (дата обращения: 19.09.2024).

²ПАО «ОАК». Режим доступа: <https://uacrussia.ru/ru/corporation/> (дата обращения: 19.09.2024.).

³Распоряжение Правительства РФ с методическими рекомендациями от 10 мая 2017 года № 894-р.

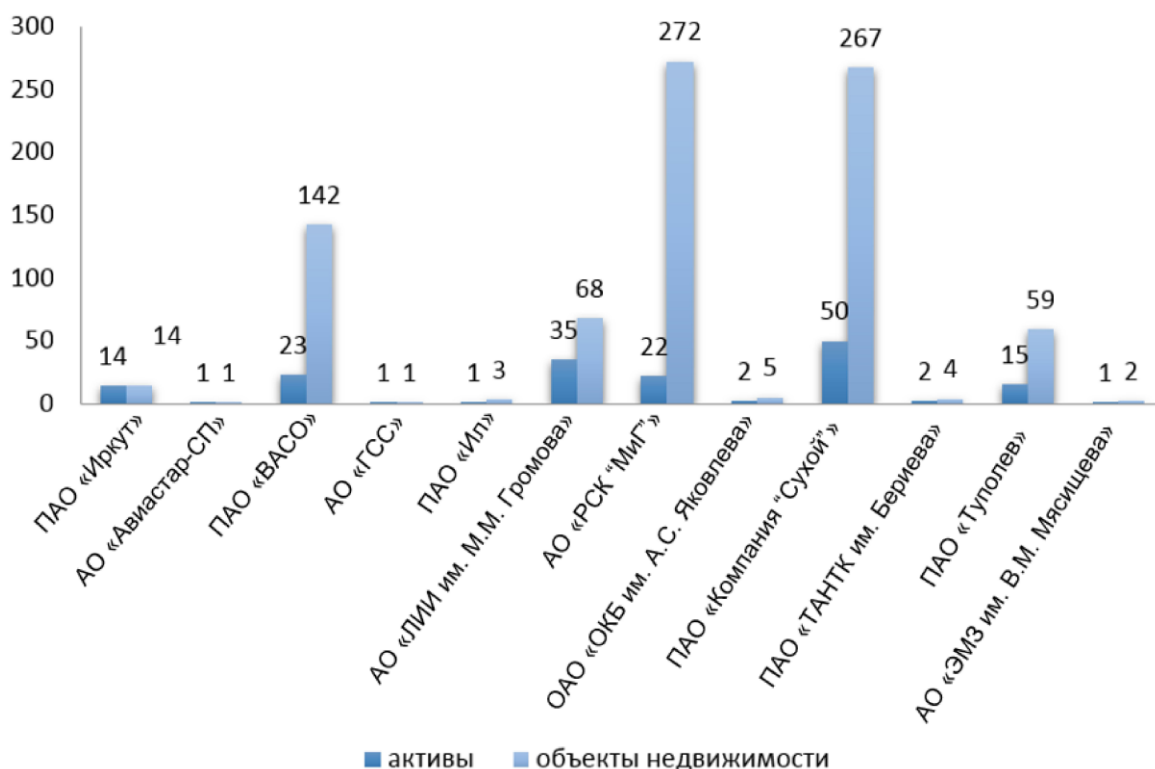


Рис. 1. Количественная структура непрофильных активов дочерних и зависимых обществ ПАО «Объединенная авиастроительная корпорация»

Fig. 1. Quantitative structure of non-core assets of subsidiaries and affiliated companies of PJSC United Aircraft Corporation

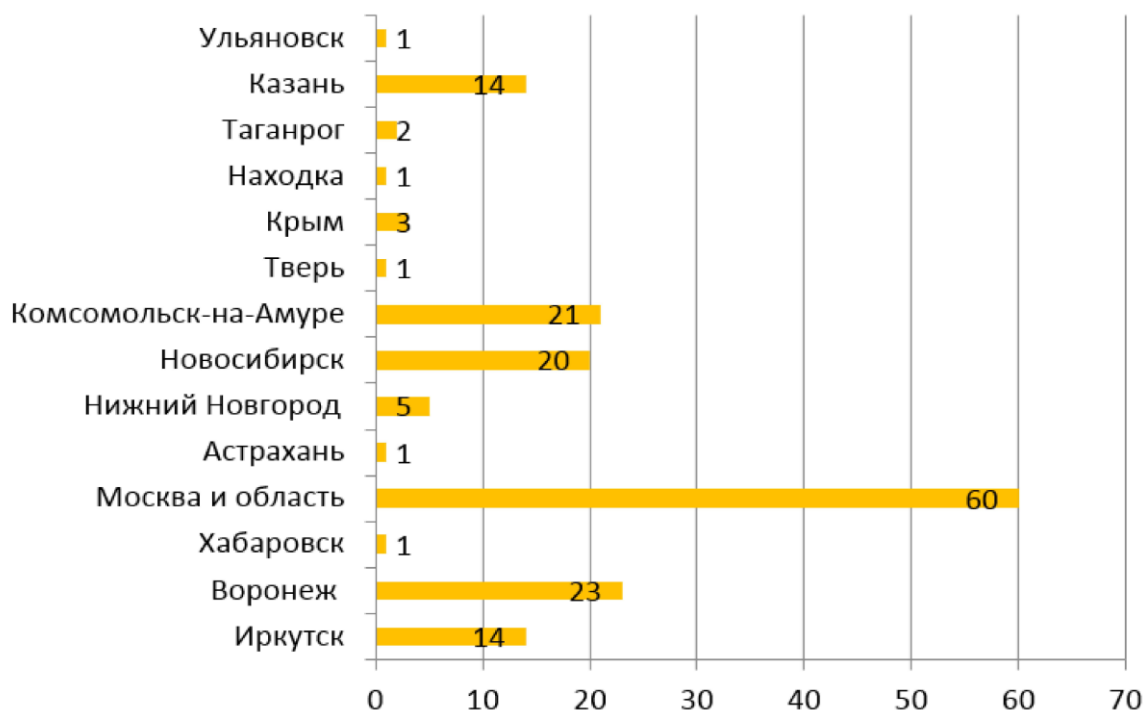


Рис. 2. Качественная структура непрофильных активов дочерних и зависимых обществ ПАО «Объединенная авиастроительная корпорация»

Fig. 2. Qualitative structure of non-core assets of subsidiaries and affiliated companies of PJSC United Aircraft Corporation

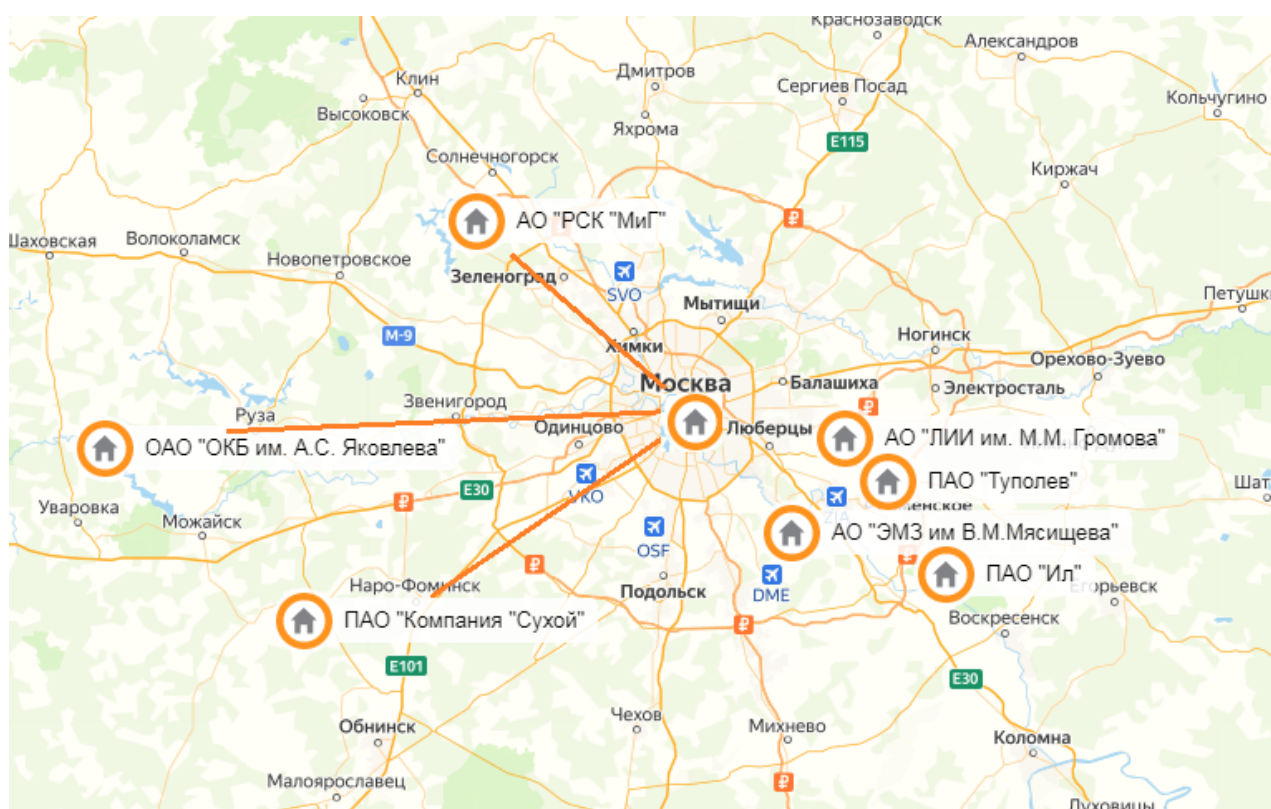


Рис. 3. Непрофильные активы (недвижимость)
Fig. 3. Non-core assets (real estate)

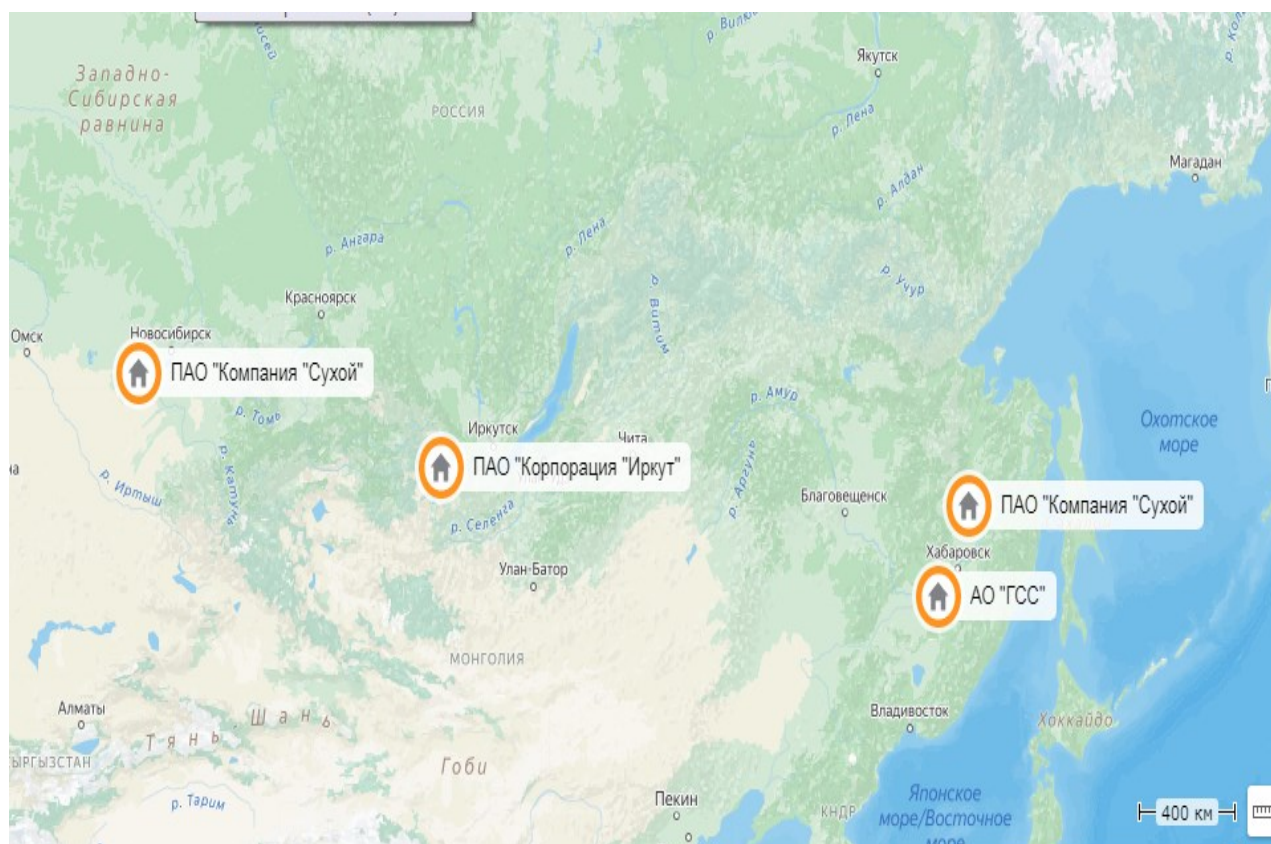


Рис. 4. Непрофильные активы, Сибирский и Дальневосточный регионы
Fig. 4. Non-core assets, Siberian and Far Eastern regions

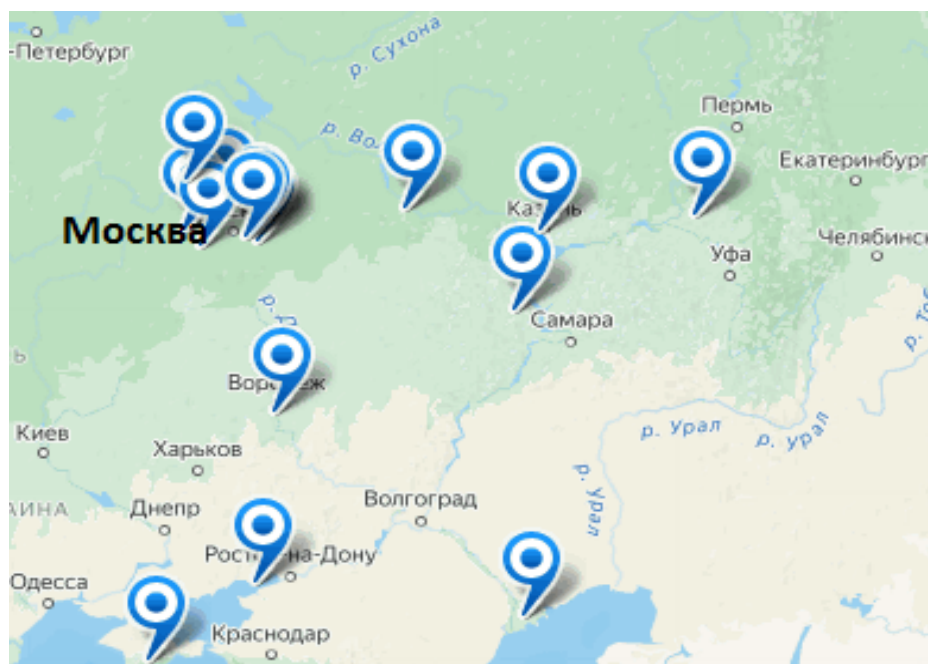


Рис. 5. Непрофильные активы (недвижимость), Центральный и Южный регионы
Fig. 5. Non-core assets (real estate), Central and Southern regions

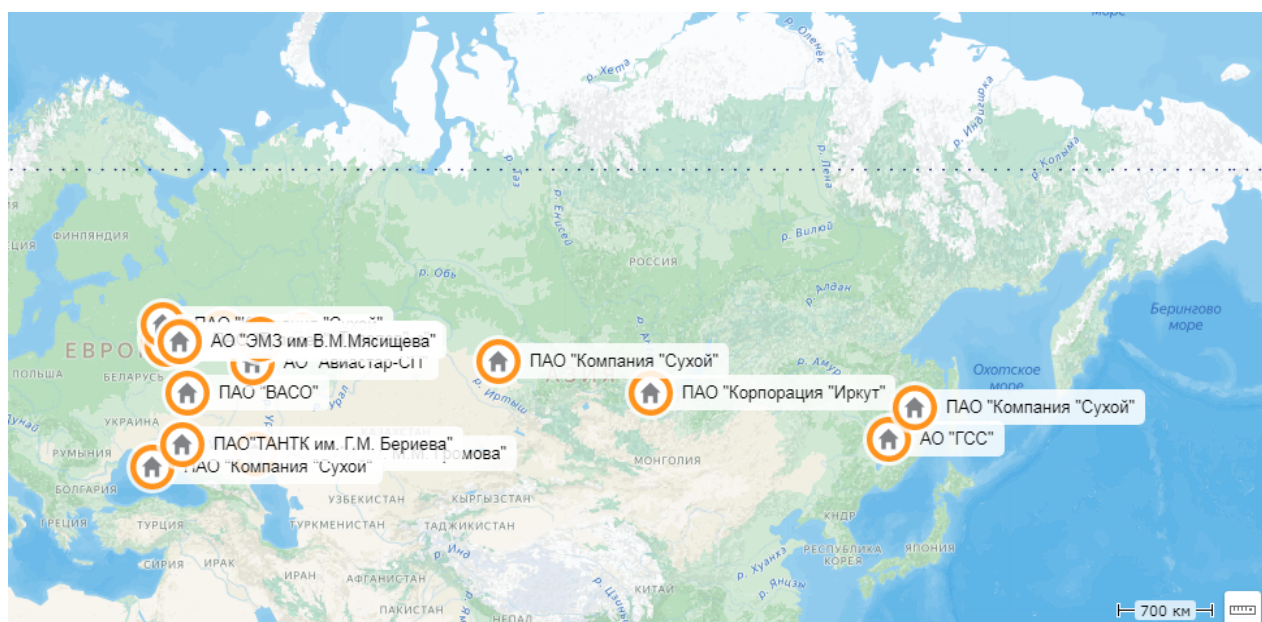


Рис. 6. Непрофильные активы (недвижимость) ПАО «Объединенная авиастроительная корпорация»
Fig. 6. Non-core assets (real estate) PJSC United Aircraft Corporation

Специфика исследования заключается в географическом и историческом аспектах [18–22]. На карте видно, что разбросанность авиазаводов с запада на восток колоссальная (рис. 6). Существуют особенности, связанные с кадровым ресурсом: к заводам, примыкает социальная инфраструктура, а вот учреждения научно-исследовательской и опытно-конструкторских работ (НИОКР) тяготеют к городам с

большой концентрацией высококвалифицированных кадров [23]. Внимание было обращено на экономико-географическое исследование [24]. В нем автор описывает теорию развития авиазаводов верхнего звена (заводов, занимающихся сборкой готовой продукции) (рис. 7). Данная теория является интересной с точки зрения проведения более детального анализа зависимости количества скопившихся

непрофильных активов от типа развития и месторасположения авиапредприятия. Ниже представлена классификация по типам развития авиазаводов:

1. Эпизодический тип относится к «...производственным площадкам при конструкторских бюро» (ПАО «Туполев», ПАО «Ил», ОКБ им. Яковлева, МВЗ им. Миля, Ухтомский вертолетный завод). На данном производстве выпускаются единичные образцы новаторской продукции для проведения летных и статических испытаний (от одного до пяти летательных аппаратов за десятилетие). Месторасположение – г. Москва и ближнее Подмосковье.

2. Разовый характеризует те компании, в которых был опробован массовый выпуск авиатехники единожды, по факту данное производство было запущено, но не прижилось.

3. Стабильный тип относится к предприятиям-лидерам, которые создают преобладающую часть авиационной продукции в России. Стоит отметить, что показатели производства сократились с советских времен, но выпуск авиатехники за тридцать лет остается массовым и равномерным.

4. К убывающему типу относятся предприятия, сменившие специализацию, а также разорившиеся или сокращающие производство с советских времен более чем в 11 раз.

5. Ювенальный тип характерен для новых предприятий-производителей гражданской авиатехники, открытых на площадках машиностроительных заводов. Данные предприятия созданы путем расширения имеющегося производства, которое дополняется выпуском пассажирских или грузовых воздушных судов.

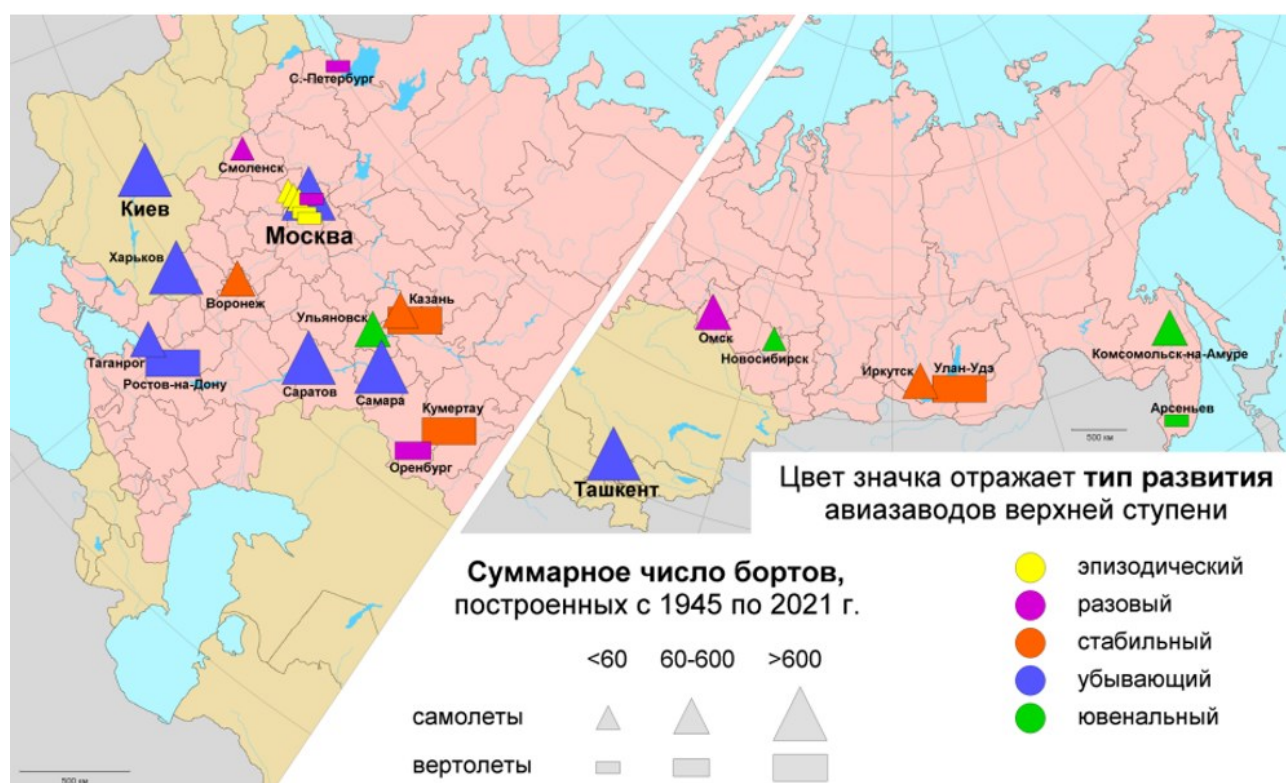


Рис. 7. Типы развития авиазаводов верхнего звена на постсоветском пространстве [15]
Fig. 7. Types of development of top-level aircraft factories in the post-Soviet space [15]

«История формирования территориальной структуры авиастроительного комплекса представляет собой движение по нисходящей относительно крупности и центральности населенных пунктов»: дореволюционные заводы (задействованные ныне в авиапроме) размещались в столицах и важнейших административных центрах, советские – преимущественно в областных центрах и крупных городах, современные – в пригородах и малых поселениях. В исследовании было отмечено, что

«...типичный путь рождения авиазавода – это перепрофилирование действующего машиностроительного производства, либо расширение его специализации за счет добавления новых цехов.

Возведение авиазавода в чистом “поле” – явление крайне редкое как для России, так и за рубежом» [24].

Оценим ситуацию анализа региона наибольшего скопления непрофильных активов «ОАК» (г. Москва и Московская область).

Регион является «накопителем» активов по ряду причин:

1. Столичные авиапредприятия имеют долгую историю и относятся к эпизодическому типу развития, который подразумевает запуск производства и дальнейшее его «сжатие» (с позиции данной логики – с пустующими площадями по итогу сжатия).

2. В столице сконцентрированы различные объекты авиаотрасли. Это площадки промышленного назначения, учреждения НИОКР, объекты массового спорта и культуры.

3. В г. Москве наблюдается большая концентрация высококвалифицированных кадров с более высокими запросами (требованиями), в том числе по уровню социального обеспечения. Что, возможно, является причиной ускоренного накопления социального фонда.

Авиазаводы г. Воронежа, Иркутска и Казани относятся к стабильному типу развития, а в рейтинговом зачете по количеству непрофильных активов находятся примерно на одном уровне: 23, 14, 14 активов соответственно. Хотя показатели Воронежского «ВАСО», по количеству активов, можно сравнить с авиазаводами г. Новосибирска и Комсомольска-на-Амуре, которые относятся к ювенольному типу развития. Международный процесс развития и диверсификации авиапроизводства имеет свои тенденции, в связи с этим предложена следующая классификация мирового авиастроения по континентальным регионам: Американский, Европейский, Азиатский и макрорегионы [24]⁴.

В качестве самого содержательного исследования по данному направлению представлен сборник «Мировая коммерческая авиационная промышленность», изданный под редакцией шведского экономгеографа Ссорена Эриксона и Хармджана Стинхьюиса в 2016 г [25]. Отмечено, что по ряду причин в открытом доступе находится очень ограниченное количество содержательных статистических данных, в том числе связанных с выпуском продукции оборонного значения.

«Одной из наиболее характерных особенностей современного этапа развития мировой авиапромышленности является высокая степень ее интернационализации. Практически

любой коммерческий самолет сегодня содержит детали, произведенные в нескольких странах мира, а зачастую и не в одном десятке государств... В середине XX в. авиаконструкторская и инженерная деятельность, производство и техподдержка, как правило, осуществлялись в одной и той же стране» [24]. Приведенные факты являются свидетельством того, что существует острая необходимость детального изучения осязаемой темы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Имущественный комплекс авиастроительной отрасли рассредоточен по территории нашей страны с запада на восток на протяжении 6,5 тыс. км (Смоленск – Комсомольск-на-Амуре), а история некоторых авиазаводов превышает столетний рубеж. Такая сложная структура на определенных этапах функционирования требует качественного обновления всего комплекса основных и оборотных фондов.

Сегодня для этого наступил подходящий момент. Модернизация компании (предприятия) в целом, обновление основных фондов, как и их составляющих, предопределяют развитие на долгосрочную перспективу.

Была проделана попытка представить альтернативное видение в вопросах управления активами компаний – визуализация большого разнообразия скопившейся непрофильной недвижимости корпорации «ОАК».

В работе представлены некоторые характеристики структуры и карты размещения активов и заводов по городам России с целью выявления проблемных мест.

Синтез областей экономических исследований с экономической географией, предполагающей типы развития авиазаводов, может послужить дальнейшему детальному анализу и оценке зависимости структуры активов от типа компаний и предприятий, объемов производимой продукции, ее стоимости в качестве характеристики для определения корреляционных связей и определения достаточной потребности в готовых аппаратах для покрытия гражданской и воздушно-космической авиации с целью формирования стратегии управления, оптимизации ресурсной базы в части лишних непрофильных активов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ермаков Д.Н., Райзман В.В. Маркетинговая стратегия ПАО «Объединенная авиастроительная корпорация» // Интерактивная наука. 2018. № 8 (30). С. 32–37. <https://doi.org/10.21661/r-472780>. EDN: XVIMYN.

⁴Васильцова А.Н. Территориальная структура российского гражданского авиастроительного комплекса: дис. ... канд. эк.-географ. наук: 03.11.2023. М., 2023. 182 с.

2. Калачанов В.Д., Ковтун С.А., Корчак В.Ю., Ефимова Н.С. Автоматизированное управление ресурсами в экономике авиастроительной отрасли // Инновации и инвестиции. 2021. № 9. 167–173. EDN: IQQWYI.
3. Терещенко Д.С. Экономический анализ эффективности использования недвижимого имущества промышленных предприятий (на примере российских машиностроительных компаний) // Имущественные отношения в Российской Федерации. 2019. № 3 (210). С. 6–16. EDN: EUYKGN.
4. Зайнулин Е.Р. Организация разработки концепции управления непрофильными активами корпорации // Вестник университета. 2014. № 13. С. 15–20. EDN: TEBTBP.
5. Туников И.В. Алгоритм выделения непрофильных активов в структуре компании // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. 2016. № 10 (92). С. 1–29. EDN: XXIXNJ.
6. Измайлов М.К. Проблемы износа основных средств российских предприятий // Аллея науки. 2018. Т. 3. № 8. С. 398–402. EDN: YLZEPZ.
7. Бендилов М.А., Смулов А.М. Отечественное авиастроение: новые возможности стабилизации и выхода из кризиса // Экономическая наука современной России. 2005. № 2 (29). С. 55–68. EDN: IEZYMB.
8. Амосов А.И. Развитие промышленности как средство выхода из системного кризиса // Экономика промышленности. 2009. № 3. С. 8–12. EDN: MUYP LH.
9. Мантуров Д.В., Калачанов В.Д. Экономическое обоснование основных направлений организации производства наукоемкой продукции в промышленности России (на примере авиационной промышленности) // Организатор производства. 2012. № 4 (55). С. 62–67. EDN: PJXWOL.
10. Олейникова М.В., Сорокин А.Е., Ковтун С.А. Разработка организационно-экономического механизма развития производственного потенциала предприятий авиастроения в условиях цифровой экономики // Инновации и инвестиции. 2021. № 3. С. 353–356. EDN: NOVFP G.
11. Мусатова М.М. Новые индустриальные модели и системы управления в компаниях ГК «Ростех» // Мир новой экономики. 2021. Т. 15. № 4. С. 100–112. <https://doi.org/10.26794/2220-6469-2021-15-4-100-112>. EDN: XPHYYL.
12. Родин И.И. Совершенствование системы стратегического управления федеральным имуществом РФ на примере непрофильных активов АО «Центр управления непрофильными активами атомной отрасли» государственной корпорации «Росатом» // Экономика, статистика и информатика. Вестник УМО. 2015. № 6. С. 33–39. EDN: VBGZDX.
13. Черепанова М.С., Шуплецов А.Ф. О проблеме реализации свободных активов промышленных организаций // Развитие малого предпринимательства в Байкальском регионе. Материалы 5-й междунар. науч.-практ. конф. (г. Иркутск, 22 ноября 2022 г.). Иркутск, 2023. С. 171–177. EDN: WUTXZL.
14. Черепанова М.С., Шуплецов А.Ф. Обзор непрофильных активов ПАО «Яковлев» по плану реализации 2018–2020 гг. // Развитие малого предпринимательства в Байкальском регионе. Материалы 6-й междунар. науч.-практ. конф. (г. Иркутск, 23 ноября 2023 г.). Иркутск, 2024. С. 278–285. EDN: RUTEXM.
15. Cherepanova M.S., Shupletsov A.F. Overview of Industrial Sites of the Automotive Industry in The Crisis of 2022 // Management of Innovation and Investment Processes and Changes in Modern Conditions. A Collection of Scientific Papers Based On the Results of the VI International Scientific and Practical Conference (Saint Petersburg, 26–27 October 2023). Saint Petersburg, 2023. P. 156–164. EDN: IDTKYT.
16. Волосов Е.Н. Государственная политика по развитию пассажирских авиаперевозок в Сибири и на Дальнем Востоке // Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации. Сборник трудов X Междунар. науч.-практ. конф. (г. Иркутск, 14–15 октября 2021 г.). Иркутск, 2021. С. 239–249. EDN: TOBGOS.
17. Пронина Е.В., Родионов М.А. Показатели эффективности бизнес-процессов авиапредприятий // Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации. Сборник трудов X Междунар. науч.-практ. конф. (г. Иркутск, 14–15 октября 2021 г.). Иркутск, 2021. С. 295–301. EDN: DGJCEC.
18. Васильцова А.Н. Динамика гражданского авиастроения на советском и постсоветском пространстве: региональный аспект // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. 2019. № 4. С. 72–83. <https://doi.org/10.18384/2310-7189-2019-4-72-83>. EDN: TEAIIG.
19. Гонтарь Н.Ф. Факторы и современные особенности размещения промышленного комплекса России. М.: Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, 2013. 124 с. EDN: ZADTNU.
20. Михайлова Т.Н. Трансформация географии промышленности Российской Федерации // Российское предпринимательство. 2016. Т. 17. № 3. С. 351–358. <https://doi.org/10.18334/rp.17.3.2223>. EDN: VOCHRD.
21. Федосов Е.А. Авиационная промышленность // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2011. № 2 (123). С. 21–34. EDN: NZFPQF.
22. Шумилов В.Н. Ретроспективный анализ стратегии размещения отечественного авиастроения в начальный период Второй мировой войны // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. 2016. Т. 6. № 1. С. 174–185. EDN: WAKEUX.

23. Мухин М.Ю. Эвакуация авиапромышленности в 1941 г. // Вестник Российского университета Дружбы Народов. Серия: история России. 2012. № 3. С. 86–98. EDN: PBQKLB.
24. Черепанова М.С. Ретроспективный анализ стратегии формирования промышленной инфраструктуры Иркутска-II в годы ВОВ // Baikal Research Journal. 2023. Т. 14. № 4. С. 1521–1531. [https://doi.org/10.17150/2411-6262.2023.14\(4\).1521-1531](https://doi.org/10.17150/2411-6262.2023.14(4).1521-1531). EDN: BMPBCX.
25. Eriksson S., Steenhuis H. The Global Commercial Aviation Industry. Routledge: New York, 2016. 380 p.

REFERENCES

1. Ermakov D.N., Raizman V.V. Marketing Strategy of Public Joint Stock Company «United Aircraft Corporation». *Interaktivnaya nauka*. 2018;8(30):32-37. (In Russ.). <https://doi.org/10.21661/r-472780>. EDN: XVIMYH.
2. Kalachanov V.D., Kovtun S.A., Korchak V.Y., Efimova N.S. Automated Resource Management in The Economy of the Aircraft Industry. *Innovatsii i investitsii*. 2021;9:167-173. (In Russ.). EDN: IQQWYI.
3. Tereshchenko D.S. Economic Analysis of the Efficiency of Using the Real Estate of Industrial Enterprises (On The Example of Russian Machine-Building Companies). *Property Relations in the Russian Federation*. 2019;3(210):6-16. (In Russ.). EDN: EUYKGN.
4. Zainulin E.R. Organizing The Developing of a Concept of Non-Core Asset Management in Corporation. *Vestnik universiteta*. 2014;13:15-20. (In Russ.). EDN: TEBTBP.
5. Tunikov I.V. Algorithm of Allocation of Non-Core Assets of the Company's. *Upravlenie ekonomicheskimi sistemami: elektronnyi nauchnyi zhurnal*. 2016;10(92):1-29. (In Russ.). EDN: XXIXNJ.
6. Izmailov M.K. Problems of Fixed Assets Depreciation in Russia. *Alleya nauki*. 2018;3(8):398-402. (In Russ.). EDN: YLZEPZ.
7. Bendikov M.A., Smulov A.M. The Aircraft Industry in Russia: New Opportunities of Its Stabilization and Rebound After Crisis. *Economics of Contemporary Russia*. 2005;2(29):55-68. (In Russ.). EDN: IEZYMB.
8. Amosov A.I. Industrial Development as A Means of Overcoming Systemic Crisis. *Russian Journal of Industrial Economics*. 2009;3:8-12. (In Russ.). EDN: MUYPLH.
9. Manturov D.V., Kalachanov V.D. The Main Directions of Economic Justification Organization Production of High-Tech Products in Russian Industry (For Example, The Aircraft Industry). *Organizer of Production*. 2012;4(55):62-67. (In Russ.). EDN: PJXWOL.
10. Oleinikova M.V., Sorokin A.E., Kovtun S.A. Development of an Organizational and Economic Mechanism for The Development of the Production Potential of Aircraft Manufacturing Enterprises in The Digital Economy. *Innovatsii i investitsii*. 2021;3:353-356. (In Russ.). EDN: NOVFPG.
11. Musatova M.M. New Industrial Models and Management Systems in State Corporation "Rostec" Company. *The World of New Economy*. 2021;15(4):100-112. (In Russ.). <https://doi.org/10.26794/2220-6469-2021-15-4-100-112>. EDN: XPHYYL.
12. Rodin I.I. Improvement of Strategic Manipulated Federal Property the Example Non-Core Assets of JSC "Center of Nuclear Industry Noncore Assets" State Corporation "Rosatom". *Ekonomika, statistika i informatika. Vestnik UMO*. 2015;6:33-39. (In Russ.). EDN: VBGZDX.
13. Cherepanova M.S., Shupletsov A.F. On The Problem of the Sale of Free Assets of Industrial Companies. In: *Razvitie malogo predprinimatel'stva v Baikal'skom regione. Materialy 5-i mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Development of Small Entrepreneurship in The Baikal Region. Proceedings of The 5th International Scientific and Practical Conference*. 22 November 2022, Irkutsk. Irkutsk; 2023. p. 171–177. (In Russ.). EDN: WUTXZL.
14. Cherepanova M.S., Shupletsov A.F. Review of Non-Core Assets of Yakovlev PJSC According to The Implementation Plan 2018–2020. In: *Razvitie malogo predprinimatel'stva v Baikal'skom regione. Materialy 6-i mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Development of Small Entrepreneurship in The Baikal Region. Proceedings of The 6th International Scientific and Practical Conference*. 23 November 2023, Irkutsk. Irkutsk; 2024. p. 278–285. (In Russ.). EDN: RUTEXM.
15. Cherepanova M.S., Shupletsov A.F. Overview of Industrial Sites of the Automotive Industry in The Crisis of 2022. In: *Management of Innovation and Investment Processes and Changes in Modern Conditions. A Collection of Scientific Papers Based On the Results of the VI International Scientific and Practical Conference*. 26–27 October 2023, Saint Petersburg. Saint Petersburg; 2023. p. 156–164. EDN: IDTKYT.
16. Volosov E.N. State Policy On the Development of Passenger Air Transportation in Siberia and The Far East. In: *Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya grazhdanskoi aviatsii. Sbornik trudov X Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Current Problems and Prospects for The Development of Civil Aviation. Collection of Proceedings of the X International Scientific and Practical Conference*. 14–15 October 2021, Irkutsk. Irkutsk; 2021. p. 239–249. (In Russ.). EDN: TOBGOS.
17. Pronina E.V., Rodionov M.A. Performance Indicators of Business Processes of Airlines. In: *Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya grazhdanskoi aviatsii. Sbornik trudov X Mezhdunarodnoi nauchno-*

prakticheskoi konferentsii = Current Problems and Prospects for The Development of Civil Aviation. Collection of Proceedings of the X International Scientific and Practical Conference. 14–15 October, 2021, Irkutsk. Irkutsk; 2021. p. 295–301. (In Russ.). EDN: DGJCEC.

18. Vasilcova A.N. Dynamics of Civil Aircraft Industry Development in Soviet and Post-Soviet Area: Regional Aspect. *Bulletin of the Moscow Regional State University. Series: Natural Sciences*. 2019;4:72-83. (In Russ.). <https://doi.org/10.18384/2310-7189-2019-4-72-83>. EDN: TEAIIIG.

19. Gontar' N.F. *Factors and Modern Features of the Placement of the Industrial Complex of Russia*. Moscow: Plekhanov Russian University of Economics, 2013. 124 p. (In Russ.). EDN: ZADTNU.

20. Mikhailova T.N. Transformation of The Industrial Geography of the Russian Federation. *Russian Journal of Entrepreneurship*. 2016;17(3):351-358. (In Russ.). <https://doi.org/10.18334/rp.17.3.2223>. EDN: VOCHRD.

21. Fedosov E.A. Aviation Industry. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta*. 2011;2(123):21-34. (In Russ.). EDN: NZFPQF.

22. Shumilov V.N. The Retrospective Analysis of Strategy of Placement of Domestic Aircraft Industry in The Initial Stage of World War II. *Interekspo GEO-Sibir'*. 2016;6(1):174-185. (In Russ.). EDN: WAKEUX.

23. Mukhin M.Yu. Aircraft Industry Evacuation in 1941. *RUDN Journal of Russian History*. 2012;3:86-98. (In Russ.). EDN: PBQKLB.

24. Cherepanova M.S. The Study of the Industrial Infrastructure of Irkutsk-II During World War II. *Baikal Research Journal*. 2023;14(4):1521-1531. (In Russ.). [https://doi.org/10.17150/2411-6262.2023.14\(4\).1521-1531](https://doi.org/10.17150/2411-6262.2023.14(4).1521-1531). EDN: BMPBCX.

25. Eriksson S., Steenhuis H. *The Global Commercial Aviation Industry*. Routledge: New York, 2016. 380 p.

Информация об авторе

Черепанова Мария Сергеевна,
аспирант,
Байкальский государственный университет,
664003, г. Иркутск, ул. Ленина, 11, Россия,
✉e-mail: cheremaha@yandex.ru,
010623@bgu.ru
<https://orcid.org/0009-0005-6184-4308>
Author ID: 1220860

Information about the author

Maria S. Cherepanova,
Postgraduate Student,
Baikal State University,
11 Lenin St., Irkutsk 664003, Russia,
✉e-mail: cheremaha@yandex.ru,
010623@bgu.ru
<https://orcid.org/0009-0005-6184-4308>
Author ID: 1220860

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.

Conflict of interests

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

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

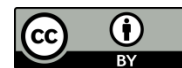
The final manuscript has been read and approved by the author.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 15.08.2024.
Одобрена после рецензирования 09.09.2024.
Принята к публикации 10.09.2024.

Information about the article

The article was submitted 15.08.2024.
Approved after reviewing 09.09.2024.
Accepted for publication 10.09.2024.



Assessment of human-induced evapotranspiration with GRACE satellites in the catchment area of lake Baikal

Agegnehu K. Yoshe^{1,3✉}, Ekaterina N. Sutyryna²,
Victor R. Chupin³, Igor Yu. Shelekhov⁴

¹Arba Minch University, Arba Minch, Ethiopia

²Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

^{3,4}Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. Evapotranspiration is an integral part of the Earth system studies, but it is challenging to measure it on regional scales. One estimation technique is a terrestrial water budget, i.e., total precipitation minus the sum of evapotranspiration and net runoff equals the change in water storage. Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) satellite gravity observations are now enabling the closure of this equation by providing information on the terrestrial water storage changes. The main objective of this study was to estimate human induced evapotranspiration (HET) using the water budget and Remote Sensing-Based Vegetation Interface Processes (VIP-RS) model. We compare VIP-RS model ET estimates with Gravity Recovery and Climate Experiment and Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer satellite-based estimates in the intensively managed Lake Baikal basin. The GRACE-based ET (0,534–133,570 mm/yr.), considerably higher than VIP-RS ET (0–94,319 mm/yr.), agrees well with existing estimates found in the literature and indicates that human activities contribute to an increase in ET. The evaluated uncertainty of monthly precipitation, runoff, GRACE based terrestrial water storage, ET-GRACE, and VIP-RS is 1,56, 0,04, 1,3, 0,89, and 0,8 km³ month⁻¹, respectively. The differences may be utilized as an indicator of water management impacts on ET. We argue that satellite-based ET should yield larger seasonal amplitudes in the lake basin due to the impacts of anthropogenic activities. To date, no such investigation has been available in the existing literature for the Lake Baikal basin. Therefore, the adopted approaches for HET and its result will be regarded as a new and honest contribution to the Lake Baikal basin.

Keywords: evapotranspiration, ET-GRACE, human-induced, precipitation, VIP-RS model ET, temperature

For citation: Yoshe A.K., Sutyryna E.N., Chupin V.R., Shelekhov I.Yu. Assessment of human-induced evapotranspiration with grace satellites in the catchment area of lake Baikal. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2024;14(4): 695-707. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-4-695-707>. EDN: BAWZYM.

Научная статья

Оценка антропогенного суммарного испарения с помощью спутников GRACE в водосборном бассейне озера Байкал

А.К. Йоше^{1,3✉}, Е.Н. Сутырина²,
В.Р. Чупин³, И.Ю. Шелехов⁴

¹Университет Арба Минч, Арба Минч, Эфиопия

²Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

^{3,4}Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

Аннотация. Эвапотранспирация является неотъемлемой частью исследований земной системы, однако ее трудно измерить в региональном масштабе. Одним из методов оценки является

© Yoshe A.K., Sutyryna E.N., Chupin V.R., Shelekhov I.Yu., 2024

водный баланс суши, т. е. общее количество осадков минус сумма суммарного испарения и чистого стока, равная изменению запасов воды. Спутниковые наблюдения за гравитационным восстановлением и климатом (GRACE) в настоящее время позволяют закрыть это уравнение, предоставляя информацию об изменениях в запасах воды на земле. Основная цель этого исследования – оценка суммарного испарения, вызванного деятельностью человека (НЕТ), с использованием модели водного баланса и процессов взаимодействия растительности на основе дистанционного зондирования (VIP-RS). Мы сравниваем оценки ET по модели VIP-RS с результатами эксперимента по гравитационному восстановлению и климату, а также с оценками, полученными с помощью спутниковых спектрорадиометров среднего разрешения в интенсивно управляемом бассейне о. Байкал. Значение ET, основанное на GRACE (0,534–133,570 мм/год), значительно выше, чем значение ET, основанное на VIP-RS ET (0–94,319 мм/год), хорошо согласуется с существующими оценками, приведенными в литературе, и указывает на то, что деятельность человека способствует увеличению ET. Оцененная неопределенность месячных осадков, стока, наземных запасов воды на основе GRACE, ET-GRACE и VIP-RS составляет 1,56, 0,04, 1,3, 0,89 и 0,8 км³ в месяц за один месяц соответственно. Эти различия могут быть использованы в качестве показателя воздействия управления водными ресурсами на ET. Мы утверждаем, что спутниковые наблюдения за погодой должны давать более высокие сезонные амплитуды в бассейне озера из-за воздействия антропогенной деятельности. На сегодняшний день в существующей литературе по бассейну о. Байкал нет данных о подобных исследованиях. Таким образом, принятые подходы к НЕТ и его результат будут рассматриваться как новый и честный вклад в развитие бассейна о. Байкал.

Ключевые слова: эвапотранспирация, ET-GRACE, антропогенный, осадки, модель VIP-RS ET, температура

Для цитирования: Йоше А.К., Сутырина Е.Н., Чупин В.Р., Шелехов И.Ю. Оценка антропогенного суммарного испарения с помощью спутников GRACE в водосборном бассейне озера Байкал // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 4. С. 695–707. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-4-695-707>. EDN: BAWZYM.

INTRODUCTION

Understanding the regional water balance requires an understanding of evapotranspiration (ET). In contrast to other significant elements of the surface water balance (such as streamflow and precipitation), quantifying the effect of evapotranspiration on the role of water resource variability remains a significant challenge [1]. Furthermore, it is extremely difficult to accurately estimate regional ET with discernible spatial heterogeneity due to the interaction of the atmosphere, hydrology, energy, and human activity [1].

It is significant that a great deal of research has been done in recent years assimilating satellite remote sensing data to derive ET. Cleugh, Ray, Qiaozhen, Steven, [2] evaluated the abilities of the energy balance model and the Penman Monteith (P-M) model and demonstrated the potential of the P-M model for evaporation climatology; Zhang, Kimball, Nemani, and Running, [3] provided a long-term global ET with remote sensing NDVI.

The Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) satellite mission, combined with other auxiliary data, serves as an alternative to estimate the regional ET by water balance, either from natural and/or anthropogenic sources [4–7].

The water balance equation at the regional or watershed scale can be written as precipitation equals the sum of ET, runoff, and changes in total water storage components. Nowadays, reliable precipitation datasets across the globe are reasonably available with moderate spatial and temporal resolutions.

Parametric process-based ET models typically require intensive datasets such as soil, crop, and climatic data to derive ET at different spatial scales with reasonable accuracy [8]. But remote sensing-based methods have the advantage of estimating hydrological fluxes such as ET from routinely available weather parameters without actually integrating intensive and complex land use, crop, and soil parameters [9].

Continuous monitoring of current and past distributions of surface water, precipitation, and other variables in the basin can provide us in advance with the most probable variation of water storage in the river basin. Increasing temperatures increase evapotranspiration, which may shift the fraction of precipitation that runs off as surface water or infiltrates into the subsurface and also maintain lakes and other water bodies.

Long-term shifts in evapotranspiration can change the water availability and affect the eco-

system of the water bodies. Such human activities as groundwater exploration and land surface water resource assignment may induce a significant difference between satellite-based evapotranspiration and evapotranspiration land surface models, which are considered to be human-induced evapotranspiration. Different studies have presented that the annual evapotranspiration is contributed by human activities that lead to water resource variability [4].

These indicate that anthropogenic activities may substantially contribute to evapotranspiration changes, which could be evaluated by GRACE terrestrial water storage and the physically based evapotranspiration models.

Evapotranspiration is not only influenced by natural climate and vegetation factors but also by human activities such as irrigation or groundwater pumping. Such human influences are difficult to parameterize in hydrologic models due to the lack of data and understanding of their physical mechanisms and impacts.

Hence, most LSMs can only simulate ET under natural climate conditions. Yet studies using GRACE to detect human-induced ET (ETH) were rarely reported in the literature. It has been widely accepted that GRACE can detect changes of TWS (the sum of surface water storage (SWS), soil moisture storage (SMS), and groundwater storage (GWS)) caused by both natural and human factors [10].

Currently, no methodology exists to directly observe intra-annual evapotranspiration (ET) over a large region such as a river basin due to complex interactions among atmospheric, hydrologic, energy, and anthropogenic variables which complicate ET estimation at such scales.

But, given the unique capability of monitoring terrestrial water storage (TWS) variations from space, the gravity measurements from the Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) twin-satellite mission have been utilized along with other ancillary data to estimate regional evapotranspiration.

Most of these studies focused on comparing GRACE-based ET estimates from water budget analysis with other methods such as land surface model (LSM) simulations [11] or remote sensing-based approaches like Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS).

This method provides an independent constraint on higher-resolution satellite-based ET estimates that incorporate data from multispectral and thermal instruments.

This approach has been applied to observations from NASA's Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) mission [12].

GRACE provides monthly global terrestrial gravity anomalies that can be processed to create terrestrial water storage anomalies (TWSA) for regions larger than 200,000 km² [13].

Previous work has compared GRACE-derived ET to estimates from LSMs, with the intent to validate each approach by comparison.

According to previous research on a global and regional scale, climate change and human activities are the two main drivers that affect hydrological processes [14] that also affect both potential and actual terrestrial ET rates. Remotely sensed ET rates have been used to diagnose the trends of hydrological cycles at regional and global scales [3]. Natural climate factors are commonly the main reason for the total TWS variations, which dominate the trends of water storage in large scale basins.

Human activities not only have direct impacts on TWS variations in basin scale but also have a magnifying effect on the changes caused by natural factors which affect evapotranspiration.

For instance, the increase in population leads to the expansion of agricultural land [1], and the expansion of agriculture and the increase in irrigative demand result in an increase in water utilization.

In recent decades, the consumption of water resources in the Lake Baikal basin has significantly increased due to the increase in Mongolia's population [15].

However, as the Lake Baikal basin is located in a sensitive area of global climate change, the TWS variations in this region may still be seriously affected by the natural climate changes which are the main cause for the variability of evapotranspiration.

Despite the numerous ET estimates are available it remains a challenge to quantify anthropogenic contributions to ET due to the dearth of information on anthropogenic activities.

Therefore, in this study, GRACE monthly terrestrial water storage from 2002-2016 are first estimated, and then used to estimate evapotranspiration as the residual of the water budget equation.

Additionally, human induced evapotranspiration (HET) is evaluated by the GRACE-TWS data and the predicted ET by Remote Sensing based Vegetation Interface Processes (VIP-RS) model, and then the variations, causes and uncertainties of HET in the Lake Baikal basin were evaluated.

The identification of HET is achieved through comparison between ET from GRACE and VIP-RS modeled ET. The differences may be utilized as an indicator of water management impacts on ET.

We argue that satellite-based ET should yield larger seasonal amplitudes in the lake basin due to the impacts of anthropogenic activities.

To date, no such investigation has been available in the existing literature for Lake Baikal basin. Therefore, the adopted approaches for HET and its result will be regarded as a new and honest contribution to the Lake Baikal basin.

MATERIALS AND METHOD

Study area

Lake Baikal is located in the southern part of eastern Siberia, in the Buryatia and Irkutsk oblasts (province) of Russia (Fig. 1). Lake Baikal has 336 rivers flowing into the lake, covering an area of 560,000 km².

The main ones draining directly into Baikal are the Selenga, the Barguzin, the Upper Angara, the Turka, the Sarma, and the Snezhnaya.

It is drained through a single outlet – the Angara River.

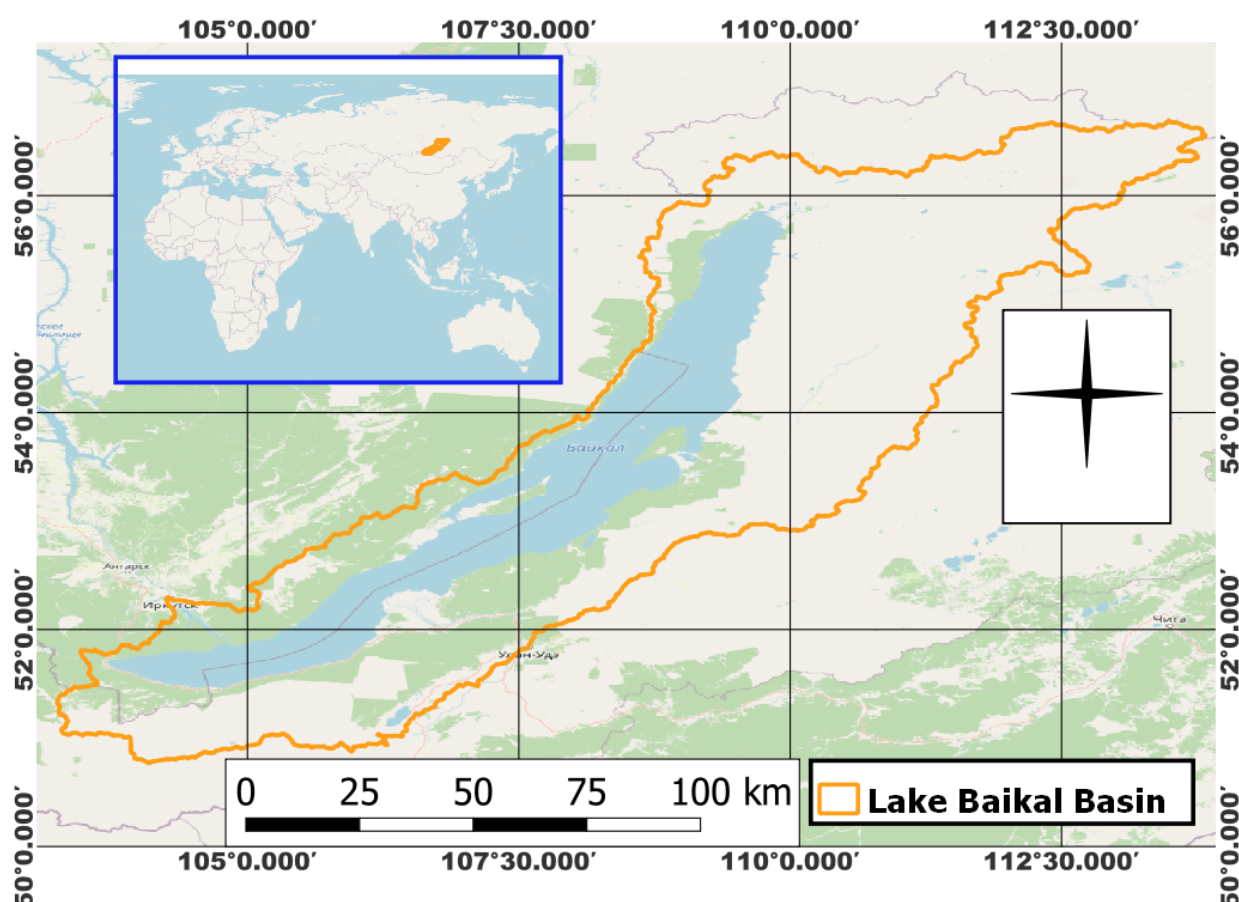


Fig. 1. The study area location map

Рис. 1. Карта расположения района исследования

Data source

The daily meteorological data was collected from the Russian hydrometeorological center in the Siberian Federal District of Russia.

The observed evapotranspiration for the model validation was obtained by R-Studio from 2001 to 2023.

Precise precipitation data is very essential for the closure of the surface water balance in the whole lake basin.

The forcing dataset of the TerraClimate data was used for this study. Indirect spatialized data for precipitation, and temperature were provided by TerraClimate: Monthly Climate data (<https://support.climateengine.org/article/87->

terraclimate), GRACE Monthly Mass Grids – Land data (<https://grace.jpl.nasa.gov/data/get-data/>), MODIS/061/MOD16A2: Terra Net Evapotranspiration Gap-Filled 8-Day Global 500m (<https://lpdaac.usgs.gov/products/mod16a2v061/>) and others.

Water balance from GRACE-satellite dataset

In this analysis basin averaged surface mass anomalies from GRACE, equivalent to the column-integrated water stored on land, which includes soil water, groundwater, surface water, and snow water, are evaluated.

GRACE is the widely used satellite that can evaluate global water storage changes, launched in March 2002 [5–7].

The measurements of GRACE can produce spatiotemporal change in the Earth's gravity field, which shows the water mass change over the land surface [5, 6, 7, 16]. These products of the GRACE terrestrial water storage data set have undergone pre-processing, such as a de-stripping filter, glacier isostatic adjustment, and Gaussian smoothing [3, 5, 6, 7].

Evapotranspiration and precipitation are key components of both atmospheric and terrestrial water storage [18]. The precipitation minus evapotranspiration shows the net water flux onto the earth's surface, and gives essential information regarding the interaction between the atmosphere and the land surface [16].

For each river basin, the relationship between terrestrial water, precipitation and evapotranspiration can be expressed as in equation 1:

$$\Delta LWE = RF - ET \quad (1)$$

ET is affected by both natural climate factors and anthropogenic factors such as irrigation or groundwater pumping [4]. But GLDAS only simulates EVT under natural climate conditions. RF-ET obtained from GLDAS was compared with TWS from GRACE, the former of which reflects TWS changes under natural climate conditions and the latter represents total terrestrial water storage (TWS) change, to evaluate the contribution of human activities to TWS changes. Moreover, to estimate the effects of human activities on the variations in ET, the ET calculated from GLDAS was compared with the total ET obtained from GRACE. The total ET can be estimated by equation 2.

$$ET_{GRACE} = RF - LWE_{GRACE} \quad (2)$$

Where ET_{GRACE} shows total ET and LWE_{GRACE} is liquid water equivalent obtained from GRACE

VIP-RS model

Based on the meteorological data and the remote sensing NDVI, the VIP-RS model was used to evaluate evapotranspiration. The evaluated evapotranspiration includes land surface water evaporation and natural vegetation evapotranspiration (ecological and agricultural water evaporation). The VIP-RS model evaluates evapotranspiration as vegetation transpiration (E_c), soil evaporation (E_s) and rainfall interception (E_i), which can be written as:

$$E_c = (1 - f_{wet}) * f_t * f_m * \frac{0.408 * \Delta * R_{nc} + f_{cover} * \gamma * \frac{900}{T+273} * U_2 * VPD}{\Delta + r_{ccor} * \gamma * (1 + 0.3 * U_2)} \quad 3$$

$$E_s = \min([f_{wet} + f_{sm}(1 - f_{wet})]) * E_{ps}, E_{ex} \quad 4$$

$$E_{ps} = \frac{0.408 * \Delta * (R_{nc} - G) + (1 - f_{cover}) * \gamma * \frac{900}{T+273} * U_2 * VPD}{\Delta + r_{ccor} * \gamma * (1 + 0.3 * U_2)} \quad 5$$

Where Δ is the slope of saturation vapor pressure per temperature relationship in hectopascal per *degrees Celsius*, R_{nc} and R_{ns} are the net radiation absorbed by canopy and soil (MJ per day) respectively, f_{wet} is humidity of land surface, f_t is the temperature stress, f_m is water restriction of vegetation, f_{sm} is the limitation of soil moisture, f_{cover} is the fractional cover of vegetation, T is the air temperature in degree Celsius, G is the soil heat flux in MJ per day, γ is the psychrometric constant in hectopascal per *degrees Celsius*, VPD is the saturated water vapour pressure deficit, E_{ps} is the potential evapotranspiration of the surface and E_{ex} is the soil moisture exudation rate. The E_i is estimated as

$$E_i = \frac{1}{\lambda} * f_{wet} * 1.26 * \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} * R_{nc} \quad 6$$

Where λ is the latent heat of vaporization of water in J/kg. According to [19], evaporation of water body (E_{water}) was estimated by net radiation (R_n).

$$E_{water} = \frac{\Delta * \frac{0.75}{\lambda} + \gamma * 2.6 * (1 + 0.536 * U_2) * VPD}{\Delta + \gamma} \quad 7$$

Accuracy evaluation method

The accuracy of the established model of community ET was evaluated using the evaluation indexes of mean square error (MSE)

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - y_i)^2 \quad 8$$

Result. Precipitation and temperature

The significant dynamic variability of precipitation and temperature has significant effects on evapotranspiration. The patterns of precipitation in Lake Baikal have undergone significant changes, with a distinct increase in precipitation in the summer followed by spring, autumn, and the smallest amount of precipitation observed in winter. As shown in Fig. 2a, the seasonal spatial distribution of precipitation in the Lake Baikal basin ranges for the year 06/01/2022 to 05/31/2023. The shift in precipitation distribution poses a serious threat to water resource availability.

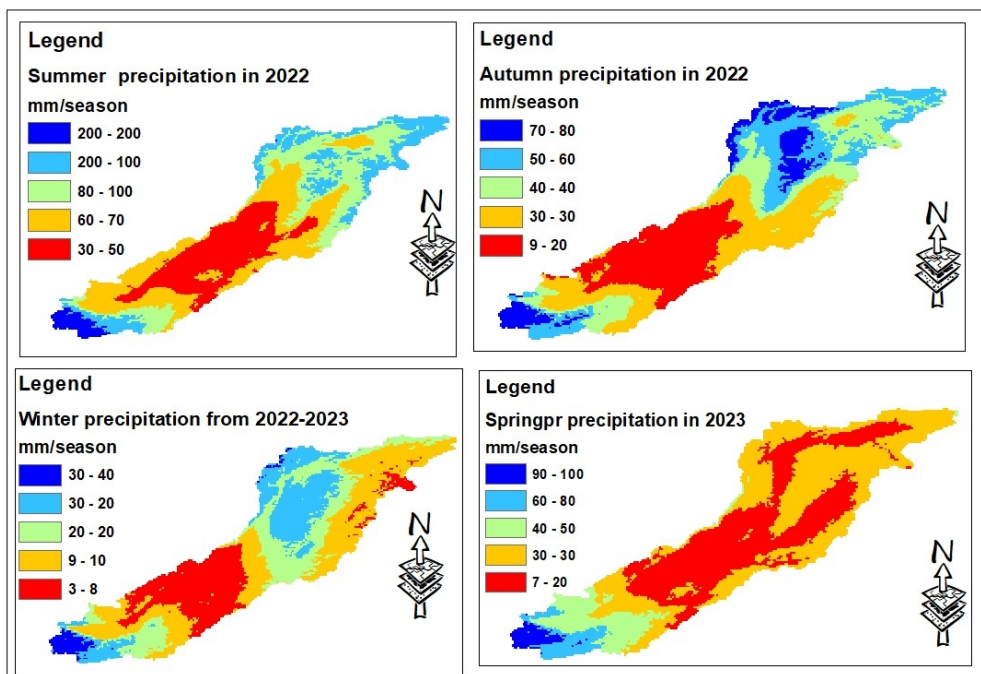
Our study suggests that water resource management should consider the decreasing trend in rainfall, particularly in the areas where a significant decreasing trend was identified (red color).

Additionally, the scarcity of rainfall in certain regions has a negative impact on domestic activities, industrial production, and declining groundwater levels. Temperature is one of the most essential climatic parameters that can affect the evapotranspiration rate. Higher temperatures lead to higher evapotranspiration. In this study area, the red color demonstrates a higher tem-

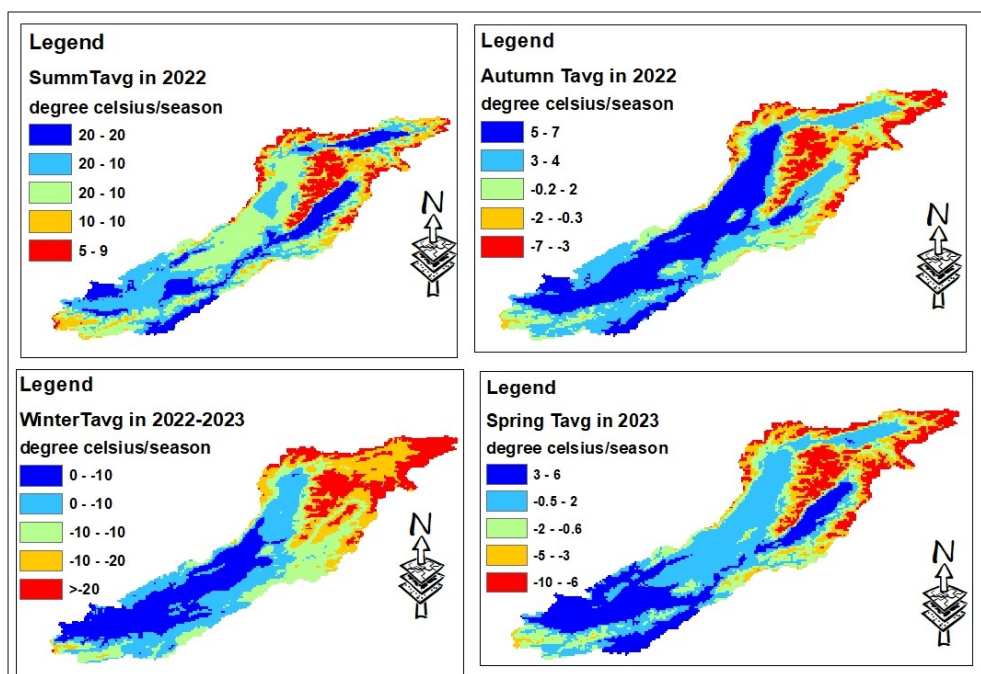
perature, and the green color shows a lower temperature. Fig. 2b demonstrates the seasonal average temperature variation in the Lake Baikal basin, which ranges in degrees Celsius. The blue color shows the highest temperature, whereas the red color shows the lowest temperature during study period. ET was moderately correlated

with precipitation (P), and only weakly correlated with net radiation or air temperature.

The strong correlation between ET and the Enhanced Vegetation Index (EVI), as opposed to the moderate correlation with rainfall, suggests that transpiration (T) is the dominant process controlling ET.



a) Seasonal precipitation from 06/2022 to 05/2023
 а) Сезонные осадки с 06.2022 по 05.2023



b) Seasonal average temperature from 06/2022 to 05/2023
 б) Средняя сезонная температура с 06.2022 по 05.2023

Fig. 2. Seasonal precipitation and average temperature in Lake Baikal
 Рис. 2. Сезонные осадки и средняя температура на о. Байкал

RUNOFF

All the precipitation that comes to the earth's surface does not contribute to runoff, some part of it disappears. The loss is caused by evaporation, transpiration, interception, depression storage, and infiltration.

Fig. 3 shows the seasonal spatial distribution of runoff from 06/01/2022 to 05/31/2023 in the Lake Baikal basin.

Very high runoff was observed in spring season and no runoff was observed in winter for this study duration.

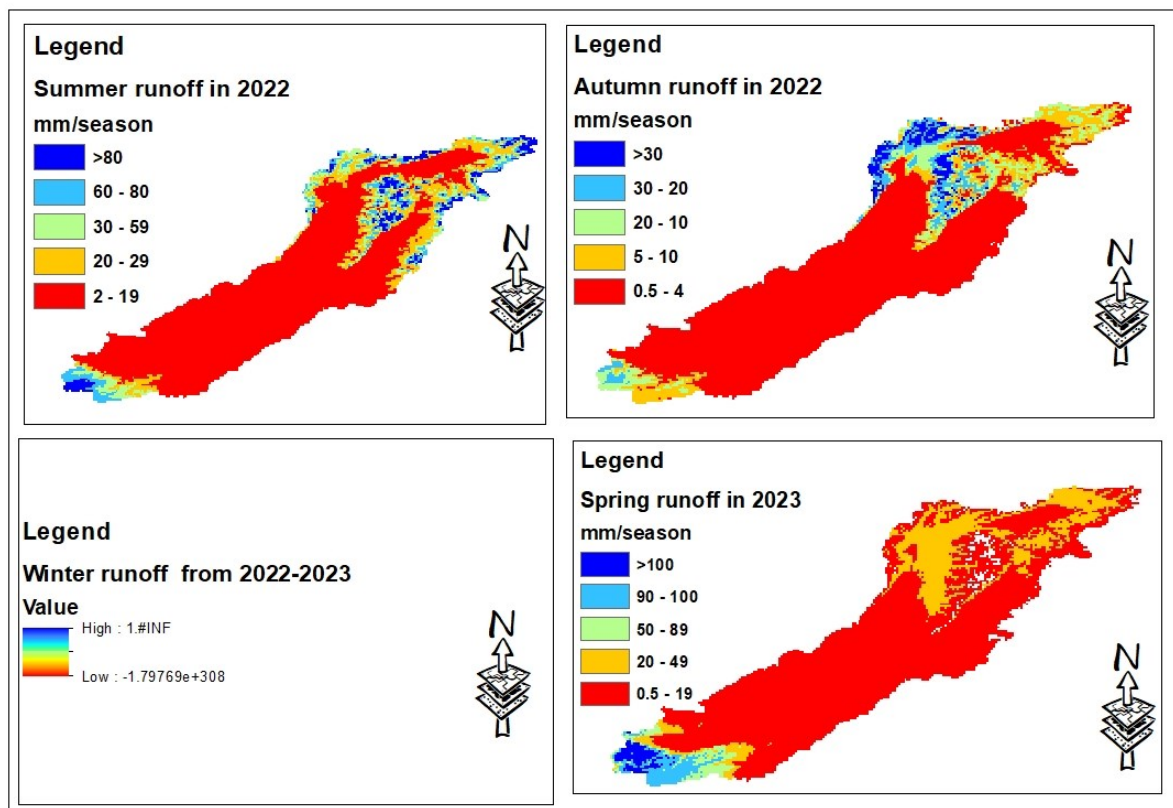


Fig. 3. Seasonal spatial distribution of runoff for 2022 to 2023

Рис. 3. Сезонное пространственное распределение стока в период с 2022 по 2023 г.

Terrestrial water storage variation in the Lake Baikal basin

The change in terrestrial water storage evaluated from the GRACE satellite dataset for the Lake Baikal basin for the period of April 2002 to January 2017. The anomalies in terrestrial water storage are relative to the mean storage value between 2004–2009. The annual trend indicates a significant decreasing trend during the study period, and the inter-anomalies of terrestrial water storage show continuous falling and rising trends in the Lake Baikal basin.

The variations in terrestrial water storage range from -12,134 to 4,312 cm per month. The change in terrestrial water storage is primarily caused by continuing human activities in the lake basin (like groundwater exploitation, increasing urbanization, mineral exploitation, etc.).

Estimation of evapotranspiration

Due to the availability of data on air temperature, the Thornthwaite method and Hargreaves model are frequently used because they are

based on the measurement of air temperature, which is commonly recorded in many meteorological stations around the world.

The estimated value of daily ET by the Thornthwaite method was obtained by using the average daily temperature, effective daily temperature and corrected effective daily temperature in R-studio, whereas the estimated Hargreaves evapotranspiration was obtained by using average temperature with longitude and latitude of the meteorological stations in R-Studio. Figure 5a shows the yearly Thornthwaite method and Hargreaves model of ET presenting the higher ET value for Hargreaves model than that of the Thornthwaite method but followed similar trends. Temperature is the dominant variable that leads to the variation in evapotranspiration, as confirmed by other studies.

The estimates of mean daily ET based on the GRACE water balance approach are used, and yearly values are plotted in Fig. 4 for the study period from 2002 to 2016.

The estimation of GRACE-based evapotranspiration was based on precipitation and GRACE's terrestrial water storage dataset. The GRACE-based evapotranspiration also shows a significant variation during the study periods.

The VIP-RS model evapotranspiration was evaluated by using equations from 3 to 7. The estimated result shows the similar trends with previously estimated evapotranspiration but has the lowest value compared with other methods.

The GRACE based evapotranspiration falls in the middle of the Hargreaves and VIP-RS models

and the Thornthwaite method. The estimated evapotranspiration using the Haregreaves method produced a larger amplitude than other methods, followed by the Thornthwaite method of estimating evapotranspiration.

The monthly average evapotranspiration for Thornthwaite, Hargreaves, GRACE and VIP-RS models during the study period ranges from 0–131,613, 0–156,120, 0,534–133,570 and 0–94,319 mm respectively. The VIP-RS evapotranspiration was significantly lower than all the other evapotranspiration.

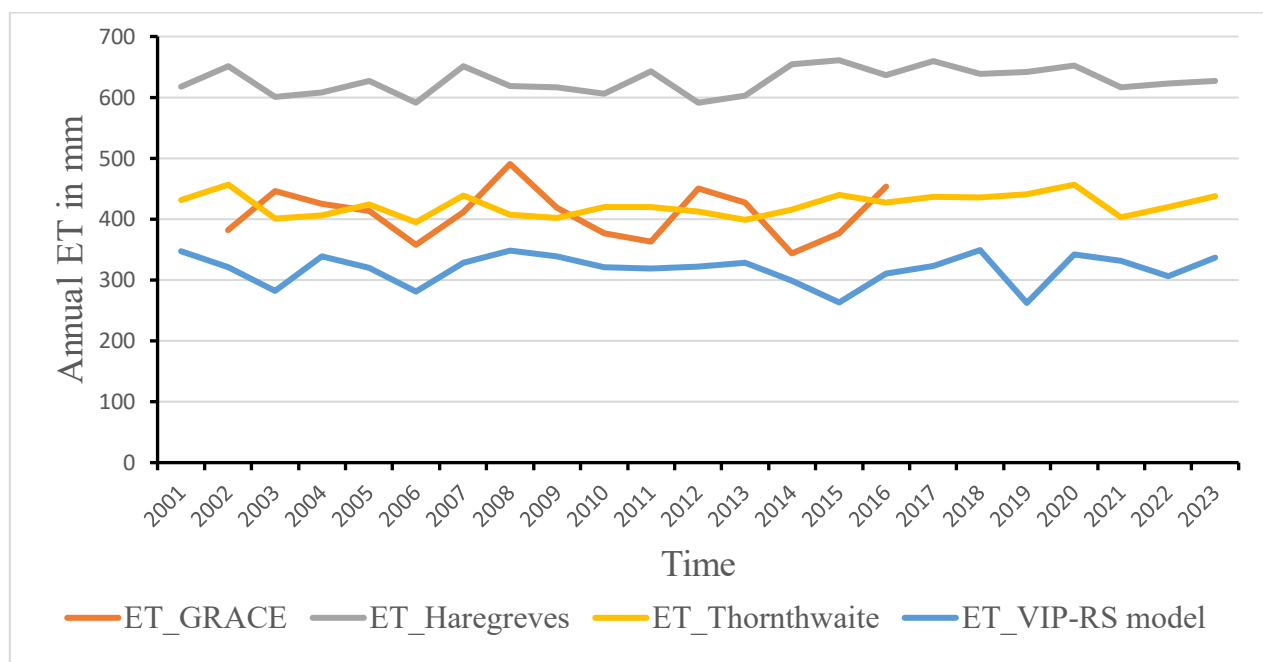


Fig. 4. Estimated annual evapotranspiration for the Lake Baikal basin
Рис. 4. Расчетное годовое суммарное испарение в бассейне о. Байкал

Seasonal spatial distribution of ET from Terra Net Evapotranspiration 8-Day Global 500m dataset

For this study the MODIS (MOD16A2.006) Terra Net Evapotranspiration 8-Day Global 500m datasets are used to evaluate the seasonal distributions of ET for the Lake Baikal basin.

Based on the estimate, higher ET was observed in the summer season followed by spring season ranging from 85–420 mm per season and 46–180 mm per season respectively, whereas the lowest ET was observed in winter season ranging from 12 to 55 mm per year.

The spatial distribution of MODIS evapotranspiration for the Lake Baikal basin was presented in Fig. 5 during study season from 06/01/2022 to 05/31/2023.

Model Validation

The estimated ET-VIP was compared with the Hargreaves and Thornthwaite methods of ET. The Hargreaves and Thornthwaite methods of ET

were considered as observed ET. Overall, seasonal changes of ET-VIP were consistent with the Hargreaves and Thornthwaite methods of ET. The correlation coefficient between Thornthwaite and Hargreaves, Hargreaves and the VIP-RS model and Thornthwaite and the VIP-RS model were 0,949, 0,951 and 0,944 respectively.

The mean square error (MSE) between VIP-RS and GRACE-ET, Hargreaves and GRACE-ET, and Thornthwaite and GRACE-ET were 0,80, 1,48, and 0,90 mm/day, respectively, while the standard deviation of the three models averages 0,72 mm/day. The Thornthwaite method shows the best agreement with GRACE with a mean bias of -0,24 mm/day, whereas Hargreaves methods show an overestimate of ET with a mean bias of 0,65 mm/day, whereas the VIP-RS model shows an underestimate of ET with a mean bias of -0,55 mm/day. Although the uncertainties of meteorological data are unavoidable between different ET algorithms [20].

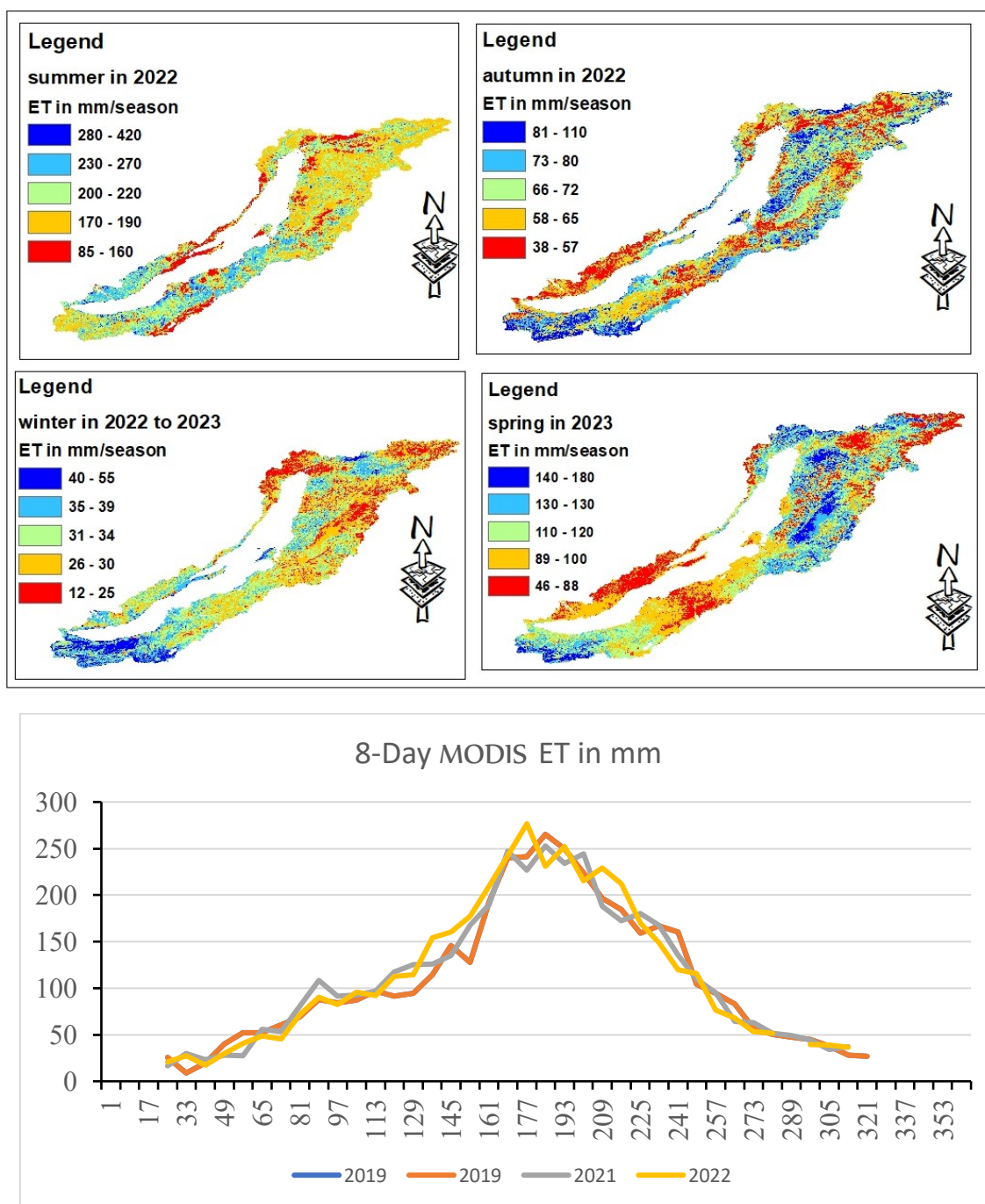


Fig. 5. Seasonal evapotranspiration for the lake Baikal basin from 2022 to 2023
Рис. 5. Сезонное суммарное испарение в бассейне о. Байкал с 2022 по 2023 г.

Evaluating the human-induced evapotranspiration during study period

The human-induced evapotranspiration was obtained by subtracting VIP-RS evapotranspiration from GRACE. The uncertainty of annual GRACE-ET, VIP-ET, and HET was 0,60, 0,86 and 0,95 km³ year⁻¹, respectively. The uncertainty of monthly precipitation, runoff, GRACE based terrestrial water storage, ET-GRACE, and VIP-RS is 1,56, 0,04, 1,3, 0,89, and 0,8 km³ month⁻¹, respectively.

The GRACE-ET showed larger amplitude than VIP-RS model ET due to lake of ET contribution by human activities in the VIP-RS model. The human-induced evapotranspiration obtained from the GRACE data set and VIP-RS model ranges from -50,9 to 61,0 mm. The uncertainty of runoff was lower than that of precipitation because annual runoff is lower than annual precipitation. The variation in terrestrial water storage showed large uncertainties, which could probably be attributed to heavy precipitation and high ter-

restrial water storage. The uncertainty of monthly ET mainly comes from terrestrial water storage variation, which agrees with the similar findings [4, 21]. The distribution of evapotranspiration in the lake basin was influenced by the increasing economic and population growth rates and various economic activities conducted in the lake basin.

CONCLUSION

This research investigates the human-induced evapotranspiration based on water budgets from GRACE TWS in the Lake Baikal basin from 2002 to 2016. First GRACE terrestrial water storage for the lake basin was evaluated during this study. Evapotranspiration based on VIP-RS, GRACE, the Hargreaves and Thornthwaite methods was evaluated for this study during the study period. From the estimated ET, the Hargreaves method shows an overestimation of ET, whereas VIP-RS method shows an underestimation of ET. Based on the estimated results, they range from 490,6–343,7, 660,9–591,1, 456,6–394,84, and 349,11–262,3 mm per year for GRACE, the Hargreaves, Thornthwaite methods and VIP-RS model, respectively.

The human-induced evapotranspiration was evaluated during this study from GRACE and VIP-RS ET. The estimated human-induced ET ranges from 43,52–163,62 mm per year. The un-

certainty of annual GRACE-ET, VIP-ET, and HET was 0,60, 0,86, and 0,95 km³ year⁻¹, respectively. The uncertainty of monthly precipitation, runoff, GRACE based terrestrial water storage, ET-GRACE, and VIP-RS is 1,56, 0,04, 1,3, 0,89, and 0,8 km³ month⁻¹, respectively.

In conclusion, this study emphasizes the unique ability of gravity satellites in monitoring water storage variations due to both climatic and human factors by comparing with VIP-RS model in the Lake Baikal basin with intensive human impacts such as groundwater exploitation, industrialization, increasing urbanization, mineral mining. It also addresses the potential and uncertainty of GRACE-based TWSC and ET for understanding hydrologic changes under multiple driving factors and it provides valuable information on isolating and quantifying human impacts.

The land surface model community may also benefit from this study for improving model parameterizations and simulations.

This study also presents and demonstrates the importance and cost-effectiveness of remote sensing and satellite datasets to identify the human induced evapotranspiration for engaged river basins.

This method is also important to access and manipulate large data coverages and inaccessible areas within limited time intervals.

REFERENCES

1. Castle S.L., Reager J.T., Thomas B.F., Purdy A.J., Min-Hui Lo, Famiglietti J.S. [et. al.] Remote Detection of Water Management Impacts On Evapotranspiration in The Colorado River Basin. *Geophysical Research Letters*. 2016;43(10):5089-5097. <https://doi.org/10.1002/2016GL068675>.
2. Cleugh H.A., Leuning R., Qiaozhen Mu, Running S.W. Regional Evaporation Estimates from Flux Tower and MODIS Satellite Data. *Remote Sensing of Environment*. 2007;106(3):285-304. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.07.007>.
3. Zhang Ke, Kimball J.S., Nemani R.R., Running S.W. A Continuous Satellite-Derived Global Record of Land Surface Evapotranspiration from 1983 To 2006. *Water Resources Research*. 2010;46(9):1-21. <https://doi.org/10.1029/2009WR008800>.
4. Yun Pan, Chong Zhang, Huili Gong, Pat J.-F. Yeh, Yanjun Shen, Ying Guo [et al.] Detection of Human-Induced Evapotranspiration Using GRACE Satellite Observations in The Haihe River Basin of China. *Geophysical Research Letters*. 2017;44(1):190-199. <https://doi.org/10.1002/2016GL071287>.
5. Yoshe A.K. Estimation of Change in Terrestrial Water Storage for Abbay River Basin, Ethiopia. *Hydrology Research*. 2023;54(11):1451-1475. <https://doi.org/10.2166/nh.2023.119>.
6. Yoshe A.K. Assessment of Anthropogenic and Climate-Driven Water Storage Variations Over Water-Stressed River Basins of Ethiopia. *Hydrology Research*. 2024;55(3):351-379. <https://doi.org/10.2166/nh.2024.169>.
7. Yoshe A.K. Water Availability Identification from GRACE Dataset and GLDAS Hydrological Model Over Data-Scarce River Basins of Ethiopia. *Hydrological Sciences Journal*. 2024;69(6):721-745. <https://doi.org/10.1080/02626667.2024.2333852>.
8. Jianzhu Li, Xueyang Liu, Fulong Chen Evaluation of Nonstationarity in Annual Maximum Flood Series and The Associations with Large-Scale Climate Patterns and Human Activities. *Water Resources Management*. 2015;29(5):1653-1668. <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0900-z>.
9. Bin Guo, Yaning Chen, Yanjun Shen, Weihong Li, Chengben Wu Spatially Explicit Estimation of Domestic Water Use in The Arid Region of Northwestern China: 1985–2009. *Hydrological Sciences Journal*. 2013;58(1):162-176. <https://doi.org/10.1080/02626667.2012.745081>.

10. Khandu, Ehsan Forootan, Schumacher M., Awange J.L., Schmied H.M. Exploring The Influence of Precipitation Extremes and Human Water Use On Total Water Storage (TWS) Changes in The Ganges-Brahmaputra-Meghna River Basin. *Water Resources Research*. 2016;52(3):2240-2258. <https://doi.org/10.1002/2015WR018113>.
11. Anderson R.G., Lo M.-H., Swenson S., Famiglietti J.S., Tang Q., Skaggs T.H. [et al.] Using Satellite-Based Estimates of Evapotranspiration and Groundwater Changes to Determine Anthropogenic Water Fluxes in Land Surface Models. *Geoscientific Model Development*. 2015;8(10):3021-3031. <https://doi.org/10.5194/gmd-8-3021-2015>.
12. Tapley B.D., Bettadpur S., Ries J.C., Thompson P.F., Watkins M.M. GRACE Measurements of Mass Variability in The Earth System. *Science*. 2004;305(5683):503-505. <https://doi.org/10.1126/science.1099192>.
13. Rodell M., Famiglietti J.S. Detectability of Variations in Continental Water Storage from Satellite Observations of the Time Dependent Gravity Field. *Water Resources Research*. 1999;35(9):2705-2723. <https://doi.org/10.1029/1999WR900141>.
14. Hampton S.E., Izmet'eva L.R., Moore M.V., Katz S.L., Dennis B., Silow E.A. Sixty Years of Environmental Change in The World's Largest Freshwater Lake – Lake Baikal, Siberia. *Global Change Biology*. 2008;14(8):1947-1958. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01616.x>.
15. Batsuren Dorjsuren, Denghua Yan, Hao Wang, Sonomdagva Chonokhuu, Altanbold Enkhbold, Xu Yiran [et al.] Observed Trends of Climate and River Discharge in Mongolia's Selenga Sub-Basin of the Lake Baikal Basin. *Water*. 2018;10(10):1-18. <https://doi.org/10.3390/w10101436>.
16. Swenson S., Wahr J. Estimating Large-Scale Precipitation Minus Evapotranspiration from GRACE Satellite Gravity Measurements. *Journal of Hydrometeorology*. 2006;7(2):252-270. <https://doi.org/10.1175/JHM478.1>.
17. Hao Chen, Wanchang Zhang, Shalamzari M.J. Remote Detection of Human-Induced Evapotranspiration in A Regional System Experiencing Increased Anthropogenic Demands and Extreme Climatic Variability. *International Journal of Remote Sensing*. 2019;40(5-6):1887-1908. <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1523590>.
18. Fanchong Meng, Fengge Su, Ying Li, Kai Tong Changes in Terrestrial Water Storage During 2003–2014 And Possible Causes in Tibetan Plateau. *JGR Atmospheres*. 2019;124(6):2909-2931. <https://doi.org/10.1029/2018JD029552>.
19. Mo X., Liu S., Lin Z., Wang S., Hu S. Trends in Land Surface Evapotranspiration Across China with Remotely Sensed NDVI and Climatological Data for 1981–2010. *Hydrological Sciences Journal*. 2015;60(12):2163-2177. <https://doi.org/10.1080/02626667.2014.950579>.
20. Jung M., Reichstein M., Ciais P., Seneviratne S.I., Sheffield J., Goulden M.L. [et al.] Recent Decline in The Global Land Evapotranspiration Trend Due to Limited Moisture Supply. *Nature*. 2010;467:951-954. <https://doi.org/10.1038/nature09396>.
21. Shuang Yi, Chunqiao Song, Qiuyu Wang, Linsong Wang, Kosuke Heki, Wenke Sun The Potential of GRACE Gravimetry to Detect the Heavy Rainfall-Induced Impoundment of a Small Reservoir in the Upper Yellow River. *Water Resources Research*. 2017;53(8):6562-6578. <https://doi.org/10.1002/2017WR020793>.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Castle S.L., Reager J.T., Thomas B.F., Purdy A.J., Min-Hui Lo, Famiglietti J.S. [et. al.] Remote Detection of Water Management Impacts On Evapotranspiration in The Colorado River Basin // *Geophysical Research Letters*. 2016. Vol. 43. Iss. 10. P. 5089–5097. <https://doi.org/10.1002/2016GL068675>.
2. Cleugh H.A., Leuning R., Qiaozhen Mu, Running S.W. Regional Evaporation Estimates from Flux Tower and MODIS Satellite Data // *Remote Sensing of Environment*. 2007. Vol. 106. Iss. 3. P. 285–304. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.07.007>.
3. Zhang Ke, Kimball J.S., Nemani R.R., Running S.W. A Continuous Satellite-Derived Global Record of Land Surface Evapotranspiration from 1983 To 2006 // *Water Resources Research*. 2010. Vol. 46. Iss. 9. P. 1–21. <https://doi.org/10.1029/2009WR008800>.
4. Yun Pan, Chong Zhang, Huili Gong, Pat J.-F. Yeh, Yanjun Shen, Ying Guo [et al.] Detection of Human-Induced Evapotranspiration Using GRACE Satellite Observations in The Haihe River Basin of China // *Geophysical Research Letters*. 2017. Vol. 44. Iss. 1. P. 190–199. <https://doi.org/10.1002/2016GL071287>.
5. Yoshe A.K. Estimation of Change in Terrestrial Water Storage for Abbay River Basin, Ethiopia // *Hydrology Research*. 2023. Vol. 54. Iss. 11. P. 1451–1475. <https://doi.org/10.2166/nh.2023.119>.
6. Yoshe A.K. Assessment of Anthropogenic and Climate-Driven Water Storage Variations Over Water-Stressed River Basins of Ethiopia // *Hydrology Research*. 2024. Vol. 55. Iss. 3. P. 351–379. <https://doi.org/10.2166/nh.2024.169>.
7. Yoshe A.K. Water Availability Identification from GRACE Dataset and GLDAS Hydrological Model Over Data-Scarce River Basins of Ethiopia // *Hydrological Sciences Journal*. 2024. Vol. 69. Iss. 6. P. 721–745. <https://doi.org/10.1080/02626667.2024.2333852>.

8. Jianzhu Li, Xueyang Liu, Fulong Chen Evaluation of Nonstationarity in Annual Maximum Flood Series and The Associations with Large-Scale Climate Patterns and Human Activities // *Water Resources Management*. 2015. Vol. 29. Iss. 5. P. 1653–1668. <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0900-z>.
9. Bin Guo, Yaning Chen, Yanjun Shen, Weihong Li, Chengben Wu Spatially Explicit Estimation of Domestic Water Use in The Arid Region of Northwestern China: 1985–2009 // *Hydrological Sciences Journal*. 2013. Vol. 58. Iss. 1. P. 162–176. <https://doi.org/10.1080/02626667.2012.745081>.
10. Khandu, Ehsan Forootan, Schumacher M., Awange J.L., Schmied H.M. Exploring The Influence of Precipitation Extremes and Human Water Use On Total Water Storage (TWS) Changes in The Ganges-Brahmaputra-Meghna River Basin // *Water Resources Research*. 2016. Vol. 52. Iss. 3. P. 2240–2258. <https://doi.org/10.1002/2015WR018113>.
11. Anderson R.G., Lo M.-H., Swenson S., Famiglietti J.S., Tang Q., Skaggs T.H. [et al.] Using Satellite-Based Estimates of Evapotranspiration and Groundwater Changes to Determine Anthropogenic Water Fluxes in Land Surface Models // *Geoscientific Model Development*. 2015. Vol. 8. Iss. 10. P. 3021–3031. <https://doi.org/10.5194/gmd-8-3021-2015>.
12. Tapley B.D., Bettadpur S., Ries J.C., Thompson P.F., Watkins M.M. GRACE Measurements of Mass Variability in The Earth System // *Science*. 2004. Vol. 305. Iss. 5683. P. 503–505. <https://doi.org/10.1126/science.1099192>.
13. Rodell M., Famiglietti J.S. Detectability of Variations in Continental Water Storage from Satellite Observations of the Time Dependent Gravity Field // *Water Resources Research*. 1999. Vol. 35. Iss. 9. P. 2705–2723. <https://doi.org/10.1029/1999WR900141>.
14. Hampton S.E., Izmet'eva L.R., Moore M.V., Katz S.L., Dennis B., Silow E.A. Sixty Years of Environmental Change in The World's Largest Freshwater Lake – Lake Baikal, Siberia // *Global Change Biology*. 2008. Vol. 14. Iss. 8. P. 1947–1958. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01616.x>.
15. Batsuren Dorjsuren, Denghua Yan, Hao Wang, Sonomdagva Chonokhuu, Altanbold Enkhbold, Xu Yiran [et al.] Observed Trends of Climate and River Discharge in Mongolia's Selenga Sub-Basin of the Lake Baikal Basin // *Water*. 2018. Vol. 10. Iss. 10. P. 1–18. <https://doi.org/10.3390/w10101436>.
16. Swenson S., Wahr J. Estimating Large-Scale Precipitation Minus Evapotranspiration from GRACE Satellite Gravity Measurements // *Journal of Hydrometeorology*. 2006. Vol. 7. Iss. 2. P. 252–270. <https://doi.org/10.1175/JHM478.1>.
17. Hao Chen, Wanchang Zhang, Shalamzari M.J. Remote Detection of Human-Induced Evapotranspiration in A Regional System Experiencing Increased Anthropogenic Demands and Extreme Climatic Variability // *International Journal of Remote Sensing*. 2019. Vol. 40. Iss. 5-6. P. 1887–1908. <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1523590>.
18. Fanchong Meng, Fengge Su, Ying Li, Kai Tong Changes in Terrestrial Water Storage During 2003–2014 And Possible Causes in Tibetan Plateau // *JGR Atmospheres*. 2019. Vol. 124. Iss. 6. P. 2909–2931. <https://doi.org/10.1029/2018JD029552>.
19. Mo X., Liu S., Lin Z., Wang S., Hu S. Trends in Land Surface Evapotranspiration Across China with Remotely Sensed NDVI and Climatological Data for 1981–2010 // *Hydrological Sciences Journal*. 2015. Vol. 60. Iss. 12. P. 2163–2177. <https://doi.org/10.1080/02626667.2014.950579>.
20. Jung M., Reichstein M., Ciais P., Seneviratne S.I., Sheffield J., Goulden M.L. [et al.] Recent Decline in The Global Land Evapotranspiration Trend Due to Limited Moisture Supply // *Nature*. 2010. Vol. 467. P. 951–954. <https://doi.org/10.1038/nature09396>.
21. Shuang Yi, Chunqiao Song, Qiuyu Wang, Linsong Wang, Kosuke Heki, Wenke Sun The Potential of GRACE Gravimetry to Detect the Heavy Rainfall-Induced Impoundment of a Small Reservoir in the Upper Yellow River // *Water Resources Research*. 2017. Vol. 53. Iss. 8. P. 6562–6578. <https://doi.org/10.1002/2017WR020793>.

Information about the authors

Agegehu K. Yoshe,

Lecturer, Department of Water Resources
and Irrigation Engineering,
Arba Minch University,
21 Post Office Box, Arba Minch, Ethiopia;
Postgraduate Student,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,
Russia,
✉ e-mail: kitanbo@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-3792-5854>

Информация об авторах

Йоше Агегнеху Китанбо,

преподаватель кафедры охраны
окружающей среды, Университет Арба Минч,
г. Арба Минч, почтовое отделение 21,
Эфиопия;
аспирант,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
✉ e-mail: kitanbo@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-3792-5854>

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

Ekaterina N. Sutyryna,
Cand. Sci. (Geography),
Associate Professor, Head of the Department
of Hydrology and Environmental Management,
Irkutsk State University,
1 Karl Marx St., Irkutsk 664003, Russia,
e-mail: ensut78@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-5743-4596>
Author ID: 526672

Igor Yu. Shelekhov,
Cand. Sci.(Eng.)
Associate Professor of the Department
of Urban Construction and Economy,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: promteplo@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7677-3187>
Author ID 480140

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

Сутырина Екатерина Николаевна,
к.г.н., доцент, заведующий кафедрой
гидрологии и природопользования,
Иркутский государственный университет,
664003, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, 1,
Россия,
e-mail: ensut78@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-5743-4596>
Author ID: 526672

Шелехов Игорь Юрьевич,
к.т.н., доцент кафедры
городского строительства и хозяйства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: promteplo@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7677-3187>
Author ID 480140

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 02.09.2024.
Approved after reviewing 27.09.2024.
Accepted for publication 30.09.2024.

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 02.09.2024.
Одобрена после рецензирования 27.09.2024.
Принята к публикации 30.09.2024.



Оценка рисков ошибок проектирования

А.Х. Байбури^{1✉}, А.Ю. Самарин²¹Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия²ООО «Априори-Строй», г. Челябинск, Россия

Аннотация. Ошибки в проектной документации могут приводить к значительным ущербам и снижению эффективности строительства. Предметом исследования является оценка рисков проектных ошибок. В статье приведены данные по статистике замечаний на стадии экспертизы проектов. Описаны этапы управления рисками на различных стадиях проектирования, а также типы рисков. На основе анализа основных ошибок проектной документации предлагается простой метод анализа рисков проектных ошибок. Метод основан на анализе видов, последствий и критичности отказов, при котором баллами оценивают частоту ошибок, их значимость и вероятность обнаружения. Вероятность дефекта может быть предварительно исследована по выборке конкретных видов объектов или принята экспертным путем. Перемножением баллов находят величину комплексного (приоритетного) риска ошибки проектирования и назначают ранг риска. Комплексный риск сравнивают с граничным значением приоритетного числа риска *PRN*. По значению *PRN* риски могут быть ранжированы на высокие, средние и малые. Ранг риска определяют по оценкам частоты и значимости дефектов проектирования. По рангу риска возможно назначить мероприятия, значимые для управления качеством проектирования. Предложены критерии для назначения баллов, а также управленческие мероприятия для каждого ранга комплексного риска. Произведена оценка рисков для основных опасных ошибок проектов. Метод позволяет сформировать перечень критических дефектов проектирования, обосновать контрольные и профилактические мероприятия, оптимизировать организацию проектирования с целью повышения качества проектов.

Ключевые слова: проектирование зданий и сооружений, управление рисками в строительстве, анализа видов и последствий отказов, приоритетное число риска

Для цитирования: Байбури А.Х., Самарин А.Ю. Оценка рисков ошибок проектирования // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 4. С. 708–718. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-4-708-718>. EDN: JDRMYF.

Original article

Risk assessment of design faults

Albert Kh. Baiburin^{1✉}, Alexander Yu. Samarin²¹South Ural State University, Chelyabinsk, Russia²Apriori-Stroy LLC, Chelyabinsk, Russia

Abstract. This paper focuses on the risk assessment of design faults which can be made in design documentation thus leading to significant damage and reduced construction efficiency. The data on statistics of the remarks made at the stage of design expertise are given. The steps of risk management at different stages of design, as well as types of risks are described. A method is proposed to analyze the risks of design faults involving the analysis of the types, consequences, and criticality of failures. In this method, the frequency of faults, their significance, and the probability of their detection are scored. Additionally, the probability of a fault can be pre-determined by a sample of specific types of objects or accepted by expert judgment. By multiplying the scores, the value of the complex (priority) risk of design fault is found and the risk level is assigned. For this purpose, the complex risk is compared with the boundary value of the priority risk number (PRN) and then classified as high, medium, or low. The risk

level is determined by estimates of the frequency and significance of design faults. According to the risk level the measures significant for design quality management can be assigned. Criteria for assigning scores as well as management measures for each level of complex risk are proposed. Risk assessment for the main high-risk design faults has been performed. As a result, the method can be used to form a list of critical design faults, to justify control and preventive measures, as well as optimize the design process for increasing the quality of projects.

Keywords: design of buildings and structures, risk management in construction, failure mode and effects analysis, risk priority number

For citation: Baiburin A.Kh., Samarin A.Yu. Risk assessment of design faults. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(4):708-718. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-4-708-718>. EDN: JDRMYF.

ВВЕДЕНИЕ

Причинами проектных ошибок являются недостатки предпроектных изысканий, несоответствие расчетных допущений и схем, недостатки опыта проектирования, низкая квалификация исполнителей и человеческий фактор [1, 2].

Последствия проектных ошибок, вместе с дефектами работ, снижают эксплуатационное качество объектов, приводят к преждевременным повреждениям конструктивных элементов, вплоть до потери несущей способности сооружения.

Ошибки проекта и неудачное проектное решение являются причиной от 10 до 35 % аварий [3].

Аварии зданий и сооружений часто имеют своей причиной неправильное применение или недостатки строительных норм, ошибки расчетных обоснований и конструирования, неточности в чертежах и спецификациях.

Ошибки проектирования должны быть выявлены внутренним контролем, экспертизой проектов [4], а также входным контролем заказчика и подрядчика.

Выявление ошибок возможно также на этапах научно-технического сопровождения проектирования и строительства или при мониторинге технического состояния объекта (для ответственных зданий и сооружений).

По данным [5] из выборки 50-ти проектов лишь 10 % не имели замечаний при их экспертизе.

В указанном анализе приведена частота экспертных замечаний:

- общее оформление – 12 %;
- пояснительная записка – 17 %;
- технические спецификации – 3 %;
- расчеты – 23 %;
- правила конструирования – 15 %;
- оформление чертежей – 24 %;
- технологические процессы – 1 %;
- рекомендации – 5 %.

Частыми ошибками при оформлении чертежей являются: не указаны полные спецификации стальных элементов, сварных и болтовых соединений, размеры деформационных блоков; не учтены дополнительные материалы; неполная информация для выполнения заводских чертежей; не разработаны узлы в сопряжениях элементов конструкций.

Среди ошибок расчетных обоснований указываются [5]: отсутствие контрольных перерасчетов; неверное назначение эксцентриситетов и шарниров; игнорирование предупреждения о мгновенной изменяемости системы; неполный учет монтажных нагрузок; нарушение условий жесткой работы дисков перекрытий; ошибки в обосновании связей; недостатки в обеспечении общей устойчивости и назначении нагрузок для неразрезных систем.

Для повышения качества расчетных обоснований проектов рекомендуется [6]: расчет по двум-трем расчетным моделям без конвертирования исходных данных; использование сертифицированных расчетных программ; установление в нормах правил обоснования расчетных моделей; учет в расчетных моделях эффектов геометрической и физической нелинейности.

При проектировании большепролетных сооружений ошибки в расчетных обоснованиях могут привести к значительным ущербам.

Анализ причин некоторых знаковых аварий ответственных конструкций приведен в [7].

Особенно опасны ошибки в конструировании узлов сопряжений конструкций, поскольку они усугубляются повышенной монтажной дефектностью (около половины дефектов монтажа сборных элементов локализуются именно в узлах) [3].

Исследование [8] показало, что финансовые проблемы проектов, несчастные случаи на стройплощадке и дефектный проект являются наиболее значимыми рисками, влияющими на большинство строительных проектов.

В работе оценено влияние различных рисков с точки зрения заказчика:

- дефектное проектирование – 79 %;
- проблемы с финансированием – 90 %;
- задержки с получением разрешений – 58 %;
- задержки с предоставлением чертежей – 87 %;
- изменение норм и правил – 50 %;
- изменение объема работ – 61 %;
- неправильное определение объема работ в контракте – 50 %;
- задержки платежей – 67 %.

Так, ошибки проектирования входят в число наиболее важных рисков наряду с задержками сроков выполнения проекта.

По данным госэкспертизы Челябинской области количество ошибок в пяти проектах объектов общеобразовательных учреждений:

- планировочная организация земельного участка (ПОЗУ) – 8;
- объемно-планировочные и архитектурные решения (АР) – 11;
- конструктивные решения (КР) – 3;
- инженерное оборудование зданий – 23;
- электроснабжение – 5;
- системы водоснабжения и водоотведения – 5;
- системы отопления, вентиляции и кондиционирования – 9;
- сети связи – 4.

Около трети ошибок было допущено на начальных стадиях проектирования, вследствие чего дальнейший проект разрабатывался с изначально неверными конструктивными и объемно-планировочными решениями, поэтому контрольная проверка требуется уже на начальной стадии.

В статье [9] приведены типовые ошибки при проектировании детских образовательных учреждений из опыта работы Управления госэкспертизы Свердловской области по разделам проектной документации:

- ПОЗУ – 14;
- АР и КР – 7;
- обеспечение пожарной безопасности – 18;
- системы водоснабжения и водоотведения – 15;
- системы отопления, вентиляции и кондиционирования – 6.

Нарушения санитарно-эпидемиологических требований в проектах детских дошкольных учреждений по всем разделам сгруппированы в 16 видов ошибок.

Таким образом, если обзоров видов ошибок проектной документации опубликовано доста-

точно, то их анализу в строительном проектировании в Российской Федерации уделяется мало внимания.

Предметом исследований является оценка рисков проектных ошибок.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Мировой опыт показывает (ISO 31000:2018), что проектная деятельность невозможна без анализа рисков проекта и выработки соответствующих решений. Управление рисками включает идентификацию риска, риск-анализ и нормирование риска [10].

Выделяют этапы проектирования, на которых проявляются риски [11]:

- сбор исходной документации;
- полевые инженерные изыскания;
- вариантное технико-экономическое обоснование и разработка принципиальных решений;
- разработка проектной документации;
- согласование и экспертиза проектной документации;
- устранение замечаний экспертизы.

Риски классифицируют [12] на природные (наводнения, оползни и пр.), производственные (ошибки изысканий, отказ оборудования, дефекты, аварии и т.д.), организационные (срыв сроков, кадровые проблемы и пр.), финансово-экономические (превышение стоимости, кризисы) и правовые (невыдача исходно-разрешительной документации, нарушение договоров подряда, изменение нормативной базы и др.).

Известны [13, 14] математические алгоритмы моделей, позволяющие при заданной продолжительности проекта получить минимальное число работ со средним и высшим риском, а также моделей мотивации своевременной оценки и снижения риска.

Разработаны механизмы управления рисками инвестиционно-строительных проектов [15], в том числе на стадии проектирования.

Наиболее простым методом оценки рисков является анализ видов, последствий и критичности дефектов (АВКПО), в котором экономический ущерб оценивается в баллах.

Оценить ущерб в абсолютных или в относительных стоимостных единицах без привязки к конкретным объектам строительства вряд ли представляется возможным.

Предметом исследования не являлись сочетания проектных и производственных ошибок, которые, несомненно, имеют место в практике строительства.

Оценка сочетаний проектных, производственных и эксплуатационных ошибок требует расширенного исследования.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Различные виды ошибок проектирования и их последствия наиболее полно описаны в [1]. Выборка из этих данных для некоторых основ-

ных ошибок проектов приведена в табл. 1, в которой каждой ошибке присвоены баллы для оценки их риска по методике АВПКО, изложенной ниже.

Таблица 1. Характерные ошибки при проектировании
Table 1. Typical design defects

Описание ошибки или отступления от норм проектирования	Возможные последствия	Значения P		
		P_1	P_2	P_3
Конструктивные системы сооружений				
Неправильный выбор строительных материалов и элементов конструкции	Повреждения, снижение долговечности	3	5	6
Ошибки в принятой расчетной схеме конструкции или сооружения	Разрушение конструкций или сооружения	4	9	8
Ошибки в назначении температурно-усадочных и деформационных швов	Образование трещин, снижение жесткости	3	5	3
Не обеспечена устойчивость конструкций или сооружения в целом	Возможность обрушения сооружения	4	9	4
Конструктивная схема допускает прогрессирующее разрушение сооружения	То же	3	9	8
Недостаточное обеспечение жесткости и устойчивости каркаса	Деформации, потеря устойчивости	3	9	2
Уменьшенные площади опирания горизонтальных конструкций	Смятие опор, потеря устойчивости	2	9	3
Не обеспечена совместная работа элементов, ошибки в узлах и связях	Снижение жесткости, отказы в узлах	4	8	5
Неправильно принят уклон кровли, неудачно решен водоотвод с кровли	Протечки, увлажнение элементов	4	4	2
Нагрузки и воздействия				
Не учтены некоторые нагрузки и воздействия: динамические, агрессивные и пр.	Повреждения, разрушение конструкций	3	9	6
Не учтены монтажные нагрузки	То же	5	9	7
Не учтены гололедные нагрузки, нагрузка от снеговых мешков	Разрушение покрытия	2	9	3
Не учтена динамическая составляющая от ветровой нагрузки	Обрушение сооружения	3	10	3
Занижена величина сейсмических нагрузок, неверно учтены грунтовые условия	То же	2	10	4
Неправильный учет температурных воздействий, усадки материалов	Повреждение конструкций	5	5	7

Подобные таблицы могут быть составлены для ошибок проектирования основания и фундаментов (табл. 2), а также для различных конструкций и инженерного оборудования зданий и сооружений. Критичность ошибок проектирования можно определить балльным методом АВПКО. Оценка значимости ошибки проектирования C_p , характеризующим соответствующий риск, производится произведением баллов по

трем позициям $C_p = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3$, где P_1 , P_2 , P_3 – балльные оценки частоты, значимости ошибки и вероятности ее выявления. Баллы назначаются экспертным путем по критериям, представленных в табл. 3–5.

Вероятность дефекта может быть предварительно исследована по выборке конкретных видов объектов или принята экспертным путем.

Таблица 2. Ошибки проектирования основания и фундаментов
Table 2. Design errors of bases and foundations

Описание ошибки проектирования основания и фундаментов	Возможные последствия	Значения P		
		P_1	P_2	P_3
Недостатки геологических изысканий площадки строительства	Неравномерные осадки фундаментов	5	9	3

Окончание табл. 2

Описание ошибки проектирования основания и фундаментов	Возможные последствия	Значения P		
		P_1	P_2	P_3
Ошибки в назначении характеристик грунтов основания	То же	4	9	4
Не учтено изменение свойств грунтов при увлажнении основания, ползучести грунта	Недопустимые деформации	3	9	7
Не учтен гидродинамический режим грунтовых вод, процесс суффозии	Недопустимые осадки, трещины	3	9	8
В качестве основания приняты насыпные или просадочные грунты	То же	1	10	2
Не учтено воздействие на фундаменты сил морозного пучения основания	Деформации конструкций, трещины	2	9	3
Не выявлено наличие карста. Не учтены возможные паводки и подтопления, процессы русловой эрозии, оползней	Повреждение конструкций. Обрушение сооружения	2	10	7
Допущена большая разность напряжений под подошвами фундаментов	Неравномерные осадки фундаментов	2	8	2
Нарушение условий работы на продавливание фундамента	Разрушение фундаментов	2	9	6
Не учтено давление обратной засыпки на стадии строительства	Деформации стен подвала	2	7	6
Ошибки в решениях гидроизоляции фундаментов, стен подвала, полов	Капиллярный подсос влаги в стены	3	5	2
Не обеспечен отвод атмосферных вод от стен и фундаментов здания	Деформации фундаментов	2	6	3

Таблица 3. Оценка вероятности ошибки проектирования

Table 3. Probability estimation of a design error

Частота ошибки	Характеристика	Вероятность дефекта	Оценка P_1 , балл
Очень редкая	Ошибка практически не наблюдается	Менее 0,001	1–2
Редкая	Маловероятная, но возможная ошибка	0,001–0,01	3–4
Возможная	Вполне вероятная ошибка	0,01–0,1	5–6
Частая	Высокая вероятность ошибки	0,1–0,3	7–8
Очень частая	Ошибка допускается постоянно	Более 0,3	9–10

Таблица 4. Оценка последствий ошибки проектирования

Table 4. Consequences assessment of a design error

Последствия ошибки	Характеристика	Категория значимости	Оценка P_2 , балл
Незначительные	Ошибка не приводит к ощутимым последствиям. Коррекция проекта объекта не требуется	V	1–2
Малозначительные	Последствия ошибки незначительны для объекта. Расходы по устранению последствий незначительны	IV	3–4
Значительные	Ошибка приводит к снижению эксплуатационных качеств объекта. Расходы по устранению последствий ощутимые	III	5–6
Критические	Объект с ошибками не может быть использован по назначению, но не представляет угрозы безопасности	II	7–8
Катастрофические	Ошибка представляет угрозу безопасности людей или окружающей среды	I	9–10

Оценка последствий ошибок проектирования по табл. 4 в скрытом виде содержит градацию последствий, приводящих к достижению предельных состояний первой и второй

группы. Разделить их по этому признаку затруднительно, т. к. ошибки в определении характеристик грунтов основания или недостатки в обеспечении жесткости каркаса могут приво-

доть как к небольшим деформациям конструкций, так и к потере их устойчивости и разрушению. В этом проявляется известная субъективность в назначении баллов, но это не умаляет

значения методики АВПКО для управления качеством проектирования. Количественную оценку C_p называют приоритетным числом риска RPN .

Таблица 5. Оценка вероятности выявления ошибки проектирования

Table 5. Probability estimation of detecting a design error

Характеристика вероятности выявления ошибки проектирования	Вероятность выявления ошибки	Оценка P_3 , балл
Очень высокая вероятность обнаружения ошибки в результате внутреннего контроля качества проекта	Более 0,90	1–2
Высокая вероятность обнаружения ошибки. Ошибка будет обнаружена в результате приемочного контроля качества проекта	0,90–0,75	3–4
Умеренная вероятность выявления ошибки. Ошибка не будет обнаружена при внутреннем контроле, но будет выявлена в результате внешней экспертизы проекта	0,75–0,50	5–6
Малая вероятность обнаружения ошибки. Внутренний контроль и внешняя экспертиза не гарантируют выявления ошибки	0,50–0,10	7–8
Очень малая вероятность выявления ошибки. Ошибка является скрытой и, скорее всего, не будет обнаружена	Менее 0,10	9–10

Граничное значение для приоритетного числа риска RPN устанавливаются в пределах от 100 до 125, ниже этих значений риск считается малым ($C_p=1-40$) или средним ($C_p=41-99$), а решение по его регулированию принимается по отношению «затраты – выгода». После оценивания частных рисков по критериям табл. 3–5 выполняется ранжирование ошибок проектирования по частотно-значимой матрице рисков табл. 6.

Матрица рангов рисков не является общей для всех отраслей и случаев. Она может изменяться в зависимости от целей и области применения риск-анализа. После определения ранга риска ошибок проектирования по решающим правилам табл. 5 разрабатываются корректирующие мероприятия в рамках системы управления качеством проектирования:

A – обязателен углубленный расчетный анализ. Причины ошибки подлежат безуслов-

ному устранению при проектировании (повторные расчеты, изменение конструкции, увеличение запасов прочности, устойчивости и т. д.);

B – желателен расчетный анализ. Причины ошибки должны быть дополнительно изучены и должно быть принято решение по изменению проекта;

C – возможно ограничиться качественным анализом. Определяются причины ошибки и разрабатываются соответствующие корректирующие мероприятия;

D – анализ обычно не требуется. Причины ошибки фиксируются и принимаются меры по их профилактике.

При суммарном числе риска более 100 баллов принимается мероприятие ранга **A** вне зависимости от данных частотно-значимой матрицы. Результаты анализа критичности наиболее опасных ошибок проектирования представлены в табл. 7.

Таблица 6. Матрица рангов риска

Table 6. Risk rank matrix

Ожидаемая частота ошибки P_1	Ранг риска при категории значимости ошибки P_2				
	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>
Очень частая	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
Частая (вероятная)	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
Возможная	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>C</i>
Редкая (маловероятная)	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
Очень редкая	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>D</i>

Как видим, даже при значении приоритетного числа риска $RPN < 100$, в некоторых случаях ошибке присваивается ранг **A** из-за первой категории значимости. К рангу **A** отнесены следующие ошибки конструирования:

- неправильный выбор расчетной схемы;
- невыполнение условий местной и общей устойчивости;
- конструктивная схема допускает прогрессирующее разрушение;

– жесткость и пространственная неизменяемость каркаса не обеспечены, в том числе и в процессе возведения;

– не обеспечена совместная работа элементов, допущены ошибки в узлах и связях.

К опасным ошибкам в проектных нагрузках и воздействиях отнесены:

– неполный учет динамических, температурных, агрессивных и других воздействий;

– не учтены монтажные нагрузки, динамическая составляющая от ветровой нагрузки.

При недостатке данных могут возникнуть затруднения в оценке вероятности выявления ошибок.

В этом случае критичность ошибки C_p может быть оценена без третьего множителя $C_p = P_1 \cdot P_2$, где P_1 , P_2 – балльные оценки частоты, значимости ошибки проектирования. Причем балльные оценки могут быть приняты не в десятибалльной, а в пятибалльной шкале с максимальным значением комплексного риска 25.

Такое упрощение, с нашей точки зрения, будет рациональным, учитывая результаты оценок наиболее частых ошибок проектирования (табл. 6). В этом случае корректирующие мероприятия предлагается назначать по табл. 8.

Таблица 7. Результаты анализа критичности ошибок проектирования

Table 7. Analysis results of the criticality of design errors

Вид ошибки проектирования	Балльные оценки				Ранг риска	Категория значимости
	P_1	P_2	P_3	C_P		
Ошибки конструирования						
Неправильный выбор материалов	3	5	6	90	C	III
Ошибки в расчетной схеме конструкций	4	9	8	288	A	I
Неправильно приняты деформационные швы сооружения	3	5	3	45	B	III
Не обеспечена местная и общая устойчивость элементов	4	9	4	144	A	I
Схема допускает прогрессирующее разрушение сооружения	3	9	8	216	A	I
Недостаточное обеспечение жесткости и устойчивости каркаса	3	9	2	54	A	I
Уменьшенные площади опирания горизонтальных конструкций	2	9	3	54	B	I
Не обеспечена совместная работа элементов, ошибки в узлах и связях	4	8	5	160	A	II
Неправильно принят уклон кровли, неудачно решен водоотвод с кровли	4	4	2	32	C	IV
Ошибки в учете нагрузок и воздействий						
Неполный учет динамических, температурных, агрессивных и других воздействий	3	9	6	162	A	I
Не учтены монтажные нагрузки	5	9	7	315	A	I
Не учтены гололедные нагрузки, нагрузка от снеговых мешков	2	9	3	54	B	I
Не учтена динамическая составляющая от ветровой нагрузки	3	10	3	90	A	I
Занижена величина сейсмических нагрузок	2	10	4	80	B	I
Неправильный учет температурных воздействий, усадки материалов	5	5	7	175	B	III

Таблица 8. Матрица выбора корректирующих воздействий

Table 8. Matrix of selection corrective actions

Величина комплексного риска	Уровень риска	Корректирующее воздействие
1–3	Незначительный	Не требуется
4–10	Низкий	Фиксация ошибки для учета в проектной деятельности и профилактики
11–15	Средний	Дополнительная проверка проекта в части элементов, узлов, спецификаций на соответствие нормам

Окончание табл. 8

Величина комплексного риска	Уровень риска	Корректирующее воздействие
16–20	Высокий	Перерасчет конструктивной схемы. Изменение проектных решений, планировок, конструктива. Повторная экспертиза проекта
21–25	Критичный	Полный пересмотр проекта в части планировок, расчетов, конструктива и материалов. Оценка возможности реализации проекта

В результате проверок и экспертизы ошибки проекта обычно устраняются, что учитывается оценками в табл. 5. Некоторые ошибки (например, расчетные) могут быть не обнаружены и внутренним контролем, и экспертизой, поэтому оценку вероятности обнаружения нужно обязательно включать в анализ (в некоторых упрощенных вариантах АВКПО этого не делают), и учитывать в назначении категории значимости дефектов.

В исследованиях [16, 17] отмечается, что все риски не могут быть учтены или устранены во время проектирования. Остаточные риски должны учитываться на этапах строительства, эксплуатации и технического обслуживания. Для этого предлагается система регистрации рисков, которые необходимо учитывать во время строительства. Реестр рисков, интегрированный с BIM, позволяет визуализировать остаточные риски в 3D-модели для дальнейших мер по снижению рисков на более поздних этапах [18]. Снижение рисков ошибок проектирования может быть достигнуто путем создания и анализа математических моделей структурной надежности сооружений или их частей [19, 20], например, методом нечеткой древо-видной кластеризации [21]. Однако, по нашему мнению, такой глубокий анализ рационально применять только для уникальных и технически сложных объектов. Результаты АВКПО значимы для процессов управления качеством проектирования. На основе анализа возможно

определить перечень критических дефектов, выполнить их ранжирование согласно принятой матрице рангов рисков. АВКПО является базой для формирования обоснованной программы контрольных и профилактических мероприятий по предупреждению ошибок, что позволяет руководству проектной организации изменить систему обеспечения качества проектов.

На основе количественного анализа ошибок предлагается показатель качества проекта (или нескольких проектов) в виде коэффициента бездефектности с учетом риска ошибок каждого вида

$$D = 1 - \sum_{i=1}^n \left(C_{pi} \left(\frac{d_i}{p} \right) \right) / \sum_{i=1}^n C_{pi}, \quad (1)$$

где C_{pi} – критичность i -й ошибки; d_i – количество ошибок i -го вида в проектах (разделах одного проекта); n – количество проанализированных видов ошибок; p – количество проектов (или разделов одного проекта).

В формуле (1) нормированные значения C_{pi} выполняют функцию коэффициентов весомости ошибок различных видов. Параметры весомости будут изменяться как при увеличении числа i рассмотренных видов ошибок, так и при изменении самих значений комплексного риска C_{pi} . Пусть, например, в проектной организации проконтролировано пять проектов. Обнаруженные и оцененные ошибки приведены в табл. 9.

Таблица 9. Оценка уровня качества проектирования (пример)

Table 9. Assessment of the design quality level (example)

Вид ошибки проектирования	C_p	d_i	d_i/p	$C_p (d_i/p)$	D
Неправильный выбор материалов	90	1	0,2	18	0,677
Ошибки в расчетной схеме конструкций	288	1	0,2	57,6	–
Схема допускает прогрессирующее разрушение сооружения	216	1	0,2	129,6	–
Не обеспечена совместная работа элементов, ошибки в узлах и связях	160	3	0,6	32	–
Неправильно принят уклон кровли, неудачно решен водоотвод с кровли	32	2	0,4	12,8	–

Окончание табл. 9

Вид ошибки проектирования	C_p	d_i	d_i/p	$C_p (d_i/p)$	D
Не учтены монтажные нагрузки	315	2	0,4	126	–
Неполный учет динамических, температурных, агрессивных и других воздействий	162	1	0,2	32,4	–

По количеству ошибок в пяти проектах определяем уровень дефектности, и далее, с учетом значения комплексного риска C_{pi} , найдем уровень бездефектности по всем проектируемым проектам 0,677.

Этот комплексный показатель может служить индикатором эффективности системы менеджмента качества проектной организации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Среди рисков инвестиционно-строительных проектов ошибки проектирования входят в число наиболее важных рисков, наряду с задержками сроков выполнения проекта. Обзор рисков ошибок проектирования в строительном комплексе Российской Федерации уделяется мало внимания. Требуется исследование в этом направлении с применением

разных математических подходов и привлечением органов экспертизы для определения наиболее частых дефектов.

Оценку рисков ошибок проектирования предлагается проводить на основе метода АВПКО с балльной оценкой частоты, критичности и вероятности обнаружения проектных дефектов. При этом показано, что на этой основе возможно ввести интегральный показатель качества проекта в виде коэффициента бездефектности с учетом риска ошибок каждого вида.

Описанные подходы к анализу ошибок проектирования позволяют ввести относительно простой расчетный аппарат для анализа рисков ошибок и совершенствования процедур управления качеством проектирования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Добромислов А.Н. Диагностика повреждений зданий и инженерных сооружений. М.: Ассоциации строительных вузов, 2006. 256 с.
2. Добромислов А.Н. Ошибки проектирования строительных конструкций. М.: Ассоциации строительных вузов, 2007. 184 с.
3. Перельмутер А.В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций. М.: Ассоциации строительных вузов, 2007. 255 с. EDN: QNMXBVJ.
4. Акрстиний В.А., Жарков Д.А. Анализ реализуемых методов строительно-технической экспертизы проектной документации // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». 2019. № 4-2. С. 1–16. EDN: XKLZBS.
5. Самофалов М., Папинигис В. Качество конструкторской проектной документации с точки зрения технической экспертизы в Литве // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 2 (12). С. 4–11. EDN: LRPZYQ.
6. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Повышение качества расчетных обоснований проектов // Бюллетень строительной техники. 2005. № 10. С. 59–62.
7. Климанов С.Г. Дорогостоящие ошибки при проектировании // Актуальные проблемы военно-научных исследований. 2022. № 4 (24). С. 110–117. EDN: UZJCTP.
8. Iqbal S., Choudhry R.M., Holschemacher K., Ali A., Tamošaitienė J. Risk Management in Construction Projects // Technological and Economic Development of Economy. 2015. Vol. 21. Iss. 1. P. 65–78. <https://doi.org/10.3846/20294913.2014.994582>.
9. Козлов М.Л. Детские образовательные учреждения: проблемы и ошибки проектирования // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2011. № 3. С. 83–88. EDN: OFFSBL.
10. Смирнова О.В., Авдеев К.В., Полянский Н.А. Общие принципы оценки риска при проектировании зданий и сооружений // Инженерный вестник Дона. 2023. № 8 (104). С. 508–519. EDN: TVFBJQ.
11. Самарин А.Ю., Байбурун А.Х. Модульный подход к оценке качества проектных организаций // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: строительство и архитектура. 2022. Т. 22. № 2. С. 52–60. <https://doi.org/10.14529/build220207>. EDN: EZODWP.
12. Мельников М.С. Риски проектов по осуществлению проектных работ и инженерных изысканий в строительной сфере // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2022. № 12-1. С. 109–113. <https://doi.org/10.17513/vaael.2624>. EDN: IPGHJD.
13. Тельных В.Г., Шевченко Л.В. Управление проектными рисками в строительстве // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2011. Т. 7. № 8. С. 219–222. EDN: NYIJVJ.

14. Алферов В.И., Баркалов С.А., Бурков В.Н., Курочка П.Н., Хорохордина Н.В., Шипилов В.Н. Прикладные задачи управления строительными проектами. Воронеж: Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, 2008. 785 с. EDN: UGNXUR.
15. Асау В.В., Локоть Д.И., Песоцкая Е.В., Ситдииков С.А. Формирование механизмов управления рисками инвестиционно-строительных проектов. СПб.: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2016. 170 с.
16. Rachmadhani M.M., Immawan T., Mansur A., Choi W. Risk Management Framework Design Based on ISO 31000 and SCOR Model // *Spektrum Industri*. 2023. Vol. 21. Iss. 1. P. 41–51. <https://doi.org/10.12928/si.v21i1.93>.
17. Mingke Zhou, Yuegang Tang, Huai Jin, Bo Zhang, Xuewen Sang A BIM-Based Identification and Classification Method of Environmental Risks in The Design of Beijing Subway // *Journal of Civil Engineering and Management*. 2021. Vol. 27. Iss. 7. P. 500–514. <https://doi.org/10.3846/jcem.2021.15602>.
18. Rodrigues F., Antunes F., Matos R. Safety Plugins for Risks Prevention Through Design Resourcing BIM // *Construction Innovation*. 2021. Vol. 21. Iss. 2. P. 244–258. <https://doi.org/10.1108/CI-12-2019-0147>.
19. Politi V. Risk Management at The Stage of Design of High-Rise Construction Facilities // *E3S Web of Conferences*. 2018. Vol. 33. P. 1–8. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183303042>.
20. Seoung-Wook Whang, Donyavi S., Flanagan R., Sangyong Kim Contractor-Led Design Risk Management in International Large Project: Korean Contractor's Perspective // *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*. 2023. Vol. 22. Iss. 3. P. 1387–1398. <https://doi.org/10.1080/13467581.2022.2085718>.
21. Ping Zhong, Hang Yin, Yuanfu Li Analysis and Design of the Project Risk Management System Based on the Fuzzy Clustering Algorithm // *Journal of Control Science and Engineering*. 2022. Vol. 5. P. 1–8. <https://doi.org/10.1155/2022/9328038>.

REFERENCES

1. Dobromyslov A.N. *Diagnostics of Damage to Buildings and Engineering Structures*. Moscow: Association of Construction Universities, 2006. 256 p. (In Russ.).
2. Dobromyslov A.N. *Errors in The Design of Building Structures*. Moscow: Association of Construction Universities, 2007. 184 p. (In Russ.).
3. Perel'muter A.V. *Selected Problems of Reliability and Safety of Building Structures*. Moscow: Association of Construction Universities, 2007. 255 p. (In Russ.). EDN: QNMXBJ.
4. Akristiniy V.A., Zharkov D.A. Analysis of Implemented Methods of Construction and Technical Expertise of Project Documentation. *International Journal of Applied Sciences and Technology Integral*. 2019;4-2:1-16. (In Russ.). EDN: XKLZBS.
5. Samofalov M., Papinigis V. Quality of Design Project Documentation from The Point of View of Technical Expertise in Lithuania. *Magazine of Civil Engineering*. 2010;2(12):4-11. (In Russ.). EDN: LRPZYQ.
6. Perel'muter A.V., Slivker V.I. Improving The Quality of Design Justifications for Projects. *Byulleten' stroitel'noi tekhniki*. 2005;10:59-62. (In Russ.).
7. Klymanov S.G. Costly Design Errors. *Aktual'nye problemy voenno-nauchnykh issledovaniy*. 2022;4(24):110-117. (In Russ.). EDN: UZJCTP.
8. Iqbal S., Choudhry R.M., Holschemacher K., Ali A., Tamošaitienė J. Risk Management in Construction Projects. *Technological and Economic Development of Economy*. 2015;21(1):65-78. <https://doi.org/10.3846/20294913.2014.994582>.
9. Kozlov M.L. Children's Educational Institutions: Problems and Design Errors. *Akademicheskii vestnik Ural-NIIproekt RAASN*. 2011;3:83-88. (In Russ.). EDN: OFFSBL.
10. Smirnova O.V., Avdeed K.V., Polyansky N.A. General Principles of Risk Assessment in The Design of Buildings and Structures. *Engineering Journal of Don*. 2023;8(104):508-519. (In Russ.). EDN: TVFBJQ.
11. Samarin A.Yu., Baiburin A.Kh. Modular Approach to Assessment of the Quality of Project Organizations. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2022;22(2):52-60. (In Russ.). <https://doi.org/10.14529/build220207>. EDN: EZODWP.
12. Melnikov M.S. Risks of Projects for The Implementation of Design Works and Engineering Surveys in The Construction Sector. *Vestnik Altaiskoi akademii ekonomiki i prava*. 2022;12-1:109-113. (In Russ.). <https://doi.org/10.17513/vaael.2624>. EDN: IPGHJD.
13. Telnykh V.G., Shevchenko L.V. Management of Design Risks in Construction. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2011;7(8):219-222. (In Russ.). EDN: NYIJVJ.
14. Alferov V.I., Barkalov S.A., Burkov V.N., Kurochka P.N., Khorokhordina N.V., Shipilov V.N. *Applied Problems of Construction Project Management*. Voronezh: Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, 2008. 785 p. (In Russ.). EDN: UGNXUR.
15. Asau V.V., Lokot' D.I., Pesotskaya E.V., Sitedikov S.A. *Formation of Risk Management Mechanisms for Investment and Construction Projects*. Saint Petersburg: Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, 2016. 170 p. (In Russ.).

16. Rachmadhani M.M., Immawan T., Mansur A., Choi W. Risk Management Framework Design Based on ISO 31000 and SCOR Model. *Spektrum Industri*. 2023;21(1):41-51. <https://doi.org/10.12928/si.v21i1.93>.
17. Mingke Zhou, Yuegang Tang, Huai Jin, Bo Zhang, Xuewen Sang A BIM-Based Identification and Classification Method of Environmental Risks in The Design of Beijing Subway. *Journal of Civil Engineering and Management*. 2021;27(7):500-514. <https://doi.org/10.3846/jcem.2021.15602>.
18. Rodrigues F., Antunes F., Matos R. Safety Plugins for Risks Prevention Through Design Resourcing BIM. *Construction Innovation*. 2021;21(2):244-258. <https://doi.org/10.1108/CI-12-2019-0147>.
19. Politi V. Risk Management at The Stage of Design of High-Rise Construction Facilities. *E3S Web of Conferences*. 2018;33:1-8. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183303042>.
20. Seoung-Wook Whang, Donyavi S., Flanagan R., Sangyong Kim Contractor-Led Design Risk Management in International Large Project: Korean Contractor's Perspective. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*. 2023;22(3):1387-1398. <https://doi.org/10.1080/13467581.2022.2085718>.
21. Ping Zhong, Hang Yin, Yuanfu Li Analysis and Design of the Project Risk Management System Based on the Fuzzy Clustering Algorithm. *Journal of Control Science and Engineering*. 2022;5:1-8. <https://doi.org/10.1155/2022/9328038>.

Информация об авторах

Байбурин Альберт Халитович,
д.т.н., советник РААСН,
профессор кафедры строительное
производство и теория сооружений,
Южно-Уральский государственный университет,
454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76, Россия,
✉e-mail: abayburin@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7432-5671>
Author ID: 266980

Самарин Александр Юрьевич,
генеральный директор,
ООО «Априори-Строй»
454091, г. Челябинск, ул. Российская, 224,
Россия,
e-mail: director@apriory-stroy.ru

Information about the authors

Albert Kh. Baiburin,
Dr. Sci. (Eng.), Advisor to the RAACS,
Professor of the Department of Building
Technologies and Structural Engineering,
South Ural State University,
76 Lenin Ave., Chelyabinsk 454080, Russia,
✉e-mail: abayburin@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7432-5671>
Author ID: 266980

Alexandr Yu. Samarin,
General Director of LLC Apriori-Story,
224 Rossiyskaya St.,
Chelyabinsk 454091,
Russia,
e-mail: director@apriory-stroy.ru

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад
в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

Все авторы прочитали и одобрили
окончательный вариант рукописи.

Conflict of interests

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

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

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 06.06.2024.
Одобрена после рецензирования 18.06.2024.
Принята к публикации 20.06.2024.

Information about the article

The article was submitted 06.06.2024.
Approved after reviewing 18.06.2024.
Accepted for publication 20.06.2024.



Современное состояние канализационных очистных сооружений на севере Иркутской области

Э.Э. Василевич¹, О.Л. Лавыгина^{2✉}, В.И. Дударев³

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

Аннотация. Эксплуатация централизованных систем водоотведения сопровождается комплексом не только технических мероприятий, но и организационных. Основным критерием эффективности принятых мер является повышение качества очистки сточной воды. Анализ работы сооружений в северных условиях и зоне резкоконтинентального климата показывает ряд задач, которые требуют неотложного решения. Исследования биологической очистки сточных вод в подобных условиях показывают необходимость комплексного подхода, когда учитываются не только технологические особенности станций очистки сточных вод, но и климатические параметры, а также условия их эксплуатации. В работе рассмотрены показатели эффективности работы двух станций водоочистки, расположенных в северных районах Иркутской области. Выявлена недостаточная очистка сточных вод по некоторым загрязняющим веществам. Проведен комплексный анализ, который позволил установить ряд возможных причин превышения концентраций загрязняющих веществ. В качестве нормативных показателей использовались предельно-допустимые концентрации, установленные для водных объектов рыбо-хозяйственного назначения. Для более полного и глубокого анализа следует каждый этап очистки оценивать по реализуемой схеме в соответствии с проектом и разработанным технологическим регламентом, уточнять оптимальные параметры и анализы стоков поэтапно. Предварительный анализ позволил определить ряд мероприятий, которые позволяют повысить эффективность очистки сточных вод, и обосновать внедрение системы контроля качества сточной воды, сбрасываемой абонентами.

Ключевые слова: водоотведение, сточные воды, северные условия, канализационные очистные сооружения, биологическая очистка, загрязняющие вещества, эффективность очистки

Для цитирования: 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.

Original article

Wastewater treatment facilities in the north of the Irkutsk Oblast: the current state

Elvira E. Vasilevich¹, Olga L. Lavygina^{2✉}, Vladimir I. Dudarev³

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

Abstract. Operation of centralized wastewater disposal systems requires not only technical, but also organizational measures. The efficiency of these measures can be assessed by increasing the quality of wastewater treatment. The analysis of operation of facilities in the northern conditions and the zone of sharply continental climate demonstrates a number of issues that require urgent solution. According to the studies of biological wastewater treatment in such conditions, a comprehensive approach should be taken, considering climatic parameters and conditions of their operation, along with technological features of wastewater treatment plants. The paper considers the performance indicators of two water treatment plants located in the northern districts of Irkutsk Oblast. Insufficient wastewater treatment for some pollutants was revealed. A complex analysis was carried out, which identified a number of possi-

ble causes of exceeded concentrations of pollutants. Maximum permissible concentrations set for fishery water bodies were used as normative indicators. In order to provide a more complete and in-depth analysis, each stage of treatment should be evaluated according to the implemented scheme in accordance with the project and the developed technological regulations, and the optimal parameters and wastewater analyses should be specified step-by-step. A preliminary analysis resulted in a number of measures to improve the efficiency of wastewater treatment and to justify the introduction of a system for the quality control of wastewater discharged by consumers.

Keywords: wastewater, wastewater, northern conditions, sewage treatment plants, biological treatment, pollutants, cleaning efficiency

For citation: Vasilevich E.E., Lavygina O.L., Dudarev V.N. 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.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях особого интереса к экологическим проблемам и ужесточения требований к водопользователям эксплуатация систем водоочистки требует особого внимания. Превышение нормативов загрязняющих веществ неизбежно приводит к сверхлимитным платежам за негативное воздействие. Современные экономические условия диктуют требования к энергоэффективности в процессе эксплуатации очистных сооружений [1]. В классических методах очистки бытовых стоков, как и в современных справочниках с перечнем наилучших доступных технологий, главное место в схеме обработки сточных вод по праву занимает биологическая очистка как основа природных процессов деструкции органических соединений [2]. В некоторых случаях применяются системы доочистки [2]. Применение биологических методов очистки сточных вод обосновано способностью микроорганизмов использовать органические загрязнения в качестве продуктов питания.

Любое сооружение для биологической очистки представляет собой своеобразную экологическую систему из определенных условий существования и биоценоза, сформированного для этих условий [3]. Для получения требуемого эффекта очистки, необходимо выполнить некоторые условия, которые связаны с составом и температурой стоков, кислородным режимом и отсутствием токсинов [4]. Из-за очень высокой биологической изменчивости активного ила различные метаболические превращения, происходящие в иле, могут привести к образованию весьма разнообразных вторичных смесей загрязняющих веществ [5]. Как отмечают некоторые авторы, важным показателем для оценки эффективности работы канализационных очист-

ных сооружений (КОС) является не только иловый индекс (масса сухого вещества), но и гидробиологический анализ (видовое разнообразие биоценоза). В качестве положительных факторов, действующих на эффективность очистки, следует отметить солнечную радиацию, наличие системы аэрации, деятельность бактерий и организмов, зеленых растений [6].

Помимо изученных и повсеместно внедренных на очистных сооружениях традиционных методов очистки, в последние годы разрабатываются и апробируются новые технологии удаления биогенных элементов [7]. Следует отметить, что дефицит средств и специалистов не позволяет отдаленным регионам быстро перейти на новые технологии. Для соблюдения условий эксплуатации на сооружениях открытых КОС разной производительности применяются защитные купола.

Разработан уникальный программный комплекс, позволяющий как проектировщикам, так и эксплуатационному персоналу анализировать и прогнозировать работу очистных сооружений канализации в зависимости от их технологических параметров и природно-климатических факторов района проектирования объекта, что исключает ухудшение качества сточной жидкости в любое время года [8].

Сложные природные условия, значительный износ сооружений исследуемого региона требуют принятия неотложных мер с использованием всего потенциала информационных и материальных ресурсов [9–12].

Целью данной работы является выявление возможных причин недостаточной очистки, что позволит определить возможные мероприятия при эксплуатации КОС не только технического характера, но и организационного.

МЕТОДЫ

Для исследования были приняты концентрации веществ, определенные лабораторией, имеющей аккредитацию на данные виды исследований, что свидетельствует о достоверности принятых исходных данных. Перечень определяемых веществ установлен в соответствии с Правилами проведения инвентаризации сбросов загрязняющих веществ в окружающую среду¹. Для анализа качества очистки использованы методы статистического анализа и обработки данных. В качестве объекта исследования рассмотрены канализационные очистные сооружения, расположенные на севере Иркутской области (КОС № 1 и КОС № 2). КОС № 1 принимают хозяйственно-бытовые стоки от жилого поселка в объеме 1200 м³ в сутки при проектной производительности 2700 м³ в сутки. В составе имеют тангенциальную песколовку, аэротенки (две штуки), первичные и вторичные отстойники, минерализаторы. КОС № 2 принимают хозяйственно-бытовые стоки от жилого поселка и от вахтовых поселков в объеме 2100 м³ в сутки при проектной производительности 3200 м³ в сутки. В составе имеются решетки для механической очистки, аэротенки (четыре штуки), первичные и вторичные отстойники. Износ отдельных сооружений составляет 80–90 %. Особенностью данных очистных сооружений является их размещение на открытом пространстве, т. е. вне капитальных зданий и сооружений. Данный факт не может не оказывать негативного влияния на эффективность работы процессов биологической очистки в условиях севера Иркутской области, где абсолютная минимальная температура воздуха составляет минус 46 °С (по данным СП 131.13330.2020)². Снижение температуры стоков также происходит по причине разбавления стоков с коллектора сточными водами с частного сектора. По данным лаборатории, температура стоков на станциях в зимний период составляет в среднем до 12 °С и ниже на КОС № 1, до 8 °С на КОС № 2. Требования к условиям эксплуатации и оптимальные параметры биологической очистки нарушаются, и процессы деструкции в зимний период резко снижаются. КОС № 1 и КОС № 2 осуществляют сброс очищенных сточных вод в водные объекты рыбо-хозяйственного назначения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для оценки качества очистки сточных вод целесообразно провести сравнение концен-

траций загрязняющих веществ на входе (до очистки) и на выходе (после очистки) по выборке среднегодовых значений, что позволит оценить эффективность очистки сточных вод (таблица). Бытовые сточные воды, поступающие на очистку, согласно анализам, по величине БПК₅ (60–70 мг/л), можно оценить как высокоразбавленные, а нагрузку на активный ил – как низкую. Низкая нагрузка еще не означает, что все поступившие в сооружение загрязняющие вещества будут изъятые активным илом [13]. Кроме того, отсутствие показателей по фосфору и соединениям азота не дает четкой картины требуемого для качественной биологической очистки, соотношения БПК:азота:фосфора соответствует 100:5:1.

Анализ качества очистки показывает повышение концентрации на выходе по взвешенным веществам, фторидам, формальдегиду и натрию. Увеличение взвешенных веществ свидетельствует о несовершенстве работы вторичных отстойников, ввиду чего происходит вынос активного ила. Кроме того, вынос ила может быть причиной несоблюдения параметров биологической очистки и в самих аэрационных сооружениях. Сравнение концентраций с ПДК_{рх} показывает превышение по хлороформу (КОС № 2), по анионным СПАВ, железу, фенолу, фторидам, нефтепродуктам. Повышенные концентрации железа в сточной воде могут свидетельствовать о выносе окиси железа при эксплуатации коррозированных трубопроводов. Учитывая высокую степень износа (около 90 %), превышение концентрации железа на выходе из КОС № 2 вполне очевидна. Учитывая источники образования сточных вод, а именно – отсутствие производственных металлургических предприятий, следует предположить, что фенолы и фториды поступают с питьевой водой и случайными сбросами (сливами от автономных объектов). Анионные СПАВ и неионогенные СПАВ поступают с хозяйственно-бытовым стоком и, большей частью, не могут быть обезврежены путем механической или биологической очистки. Более того, подобные вещества приводят к снижению биохимических процессов [14]. Особенностью состава очищенных сточных вод для КОС № 1 и КОС № 2 является крайне высокие концентрации нефтепродуктов. Источниками данного вещества являются абоненты, обслуживающие объекты нефтегазодобывающего комплекса, активно развивающегося на севере Иркутской области.

¹Постановление Правительства РФ от 13.07.2019 № 891 «Об утверждении Правил проведения инвентаризации сбросов загрязняющих веществ в окружающую среду».

²СП 131.13330.2020. Свод правил. Строительная климатология СНиП 23-01-99*.

Показатели качества очистки сточных вод
 Wastewater treatment quality indicators

Определяемый показатель	ПДК _{рх}	Среднее значение, мг/л (КОС № 1)		Среднее значение, мг/л (КОС № 2)	
		вход	выход	вход	выход
Взвешенные вещества	0,25	85,7	85,86	120,5	227,53
Растворенный кислород	6	1	1,34	1	2,1
БПК ₅	2,1	62,32	37,38	73,6	87,2
ХПК	–	260,97	245,7	283,17	312,41
Бор	0,1	0,03	0,02	0,03	0,02
Свинец	0,006	0,03	0,01	0,03	0,02
Мышьяк и его соединения	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01
Сульфат-анион (сульфаты)	100	70,26	29,43	58,26	61,98
Хлориды	300	21,96	20,45	38,12	24,30
Хлороформ (трихлорметан)	0,005	0,14	0,0001	0,21	0,10
Цианид-анион	0,05	0,01	0,01	0,06	0,01
Алюминий	0,04	0,03	0,01	0,11	0,01
АСПАВ (Анионные СПАВ)	0,1	1,23	0,71	0,81	1,17
Железо	0,1	0,54	0,54	0,62	0,73
Фенол, гидроксibenзол	0,001	0,23	0,08	0,27	0,25
Фторид-анион	0,05	0,41	0,44	0,27	0,31
НСПАВ (Неионогенные СПАВ)	–	0,91	0,33	0,92	1,10
Нефтепродукты (нефть)	0,05	1,24	0,93	3,42	2,74
Олово и его соединения	0,112	0,01	0,005	0,005	0,005
Роданид-ион	0,1	0,09	0,04	0,12	0,11
Сульфиды	0,01	0,07	0,04	0,33	0,35
Формальдегид	0,1	0,25	0,26	0,31	0,52
Кадмий	0,005	0,01	0,01	0,001	0,001
Кальций	180	15,60	14,58	28,05	20,50
Кобальт	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
Магний	40	1,65	1,18	0,62	5,57
Марганец	0,01	0,31	0,09	0,23	0,15
Медь	0,001	0,01	0,001	0,03	0,001
Молибден	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Натрий	120	0,75	0,96	0,62	1,71
Никель	0,01	0,02	0,01	0,03	0,01
Ртуть	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
Стронций	0,4	0,51	0,11	0,27	0,18
Хром трехвалентный	0,07	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Хром шестивалентный	0,02	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Цинк	0,01	0,01	0,002	0,05	0,01

Учитывая снижение концентрации нефтепродуктов на выходе из КОС, можно сделать вывод о разбавлении нефтесодержащих сточных вод хозяйственно-бытовыми стоками, поступающими от жилищного фонда, а также частичной сорбцией и последующей деструкцией биоценоза КОС.

Учитывая тот факт, что сточная жидкость

представляет собой сложный и многокомпонентный химический раствор [15, 16], колебания по концентрациям загрязняющих веществ могут быть существенными, что определяется не только качеством сточной воды, поступающей на очистку, но и химическими взаимодействиями в процессе очистки.

Следует отметить, что ввиду удаленности

рассматриваемых КОС время транспортировки до аккредитованной лаборатории составляет более 12 часов, что не может не оказать влияние на изменения концентраций по некоторым химическим компонентам при их совместном присутствии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эксплуатация КОС в современных экономических условиях является сложной задачей, направленной не только на поддержание в работоспособном состоянии оборудования и сооружений, но и обеспечение надлежащего качества очистки. В связи с ужесточением экологических требований в области водопользования эксплуатирующие организации вынуждены принимать комплекс мероприятий по повышению качества очистки сточных вод. Задачу усложняет физический и моральный износ рассматриваемых станций (до 90 %), эксплуатация в условиях резкоконтинентального климата, дефицит квалифицированных специалистов.

Каждый этап очистки по реализуемой схеме следует оценивать в соответствии с проектом и разработанным технологическим регламентом, необходимо уточнять оптимальные параметры и анализы стоков поэтапно. Введение контроля на месте с помощью датчиков и простых анализов существенно снизит ошибку в определении показателей. Вопрос обеспечения приборами контроля в силах ре-

шить, при поддержке абонентов, администрации районов и министерства жилищной политики, энергетики и транспорта области.

Принимая во внимание ценность этапа биологической очистки, необходимо найти возможность подогрева стоков и изоляции коллекторов для предотвращения снижения температуры сточных вод. Анализ современных подходов к созданию куполов над конструкциями аэротенков и других открытых сооружений КОС в России позволит принять меры для возможного использования таковых в данном регионе. Для более полного исследования возможностей повышения эффективности очистки сточных вод рассматриваемых КОС следует проводить гидробиологический анализ активного ила, который позволит оценивать видовое разнообразие микроорганизмов, определять проблемы биоценозов на станциях.

Важным направлением, на которое следует обратить внимание организациям, эксплуатирующим централизованные системы водотока – это контроль абонентов. В современном законодательстве предусмотрена система контроля качества сточной воды, сбрасываемой абонентами^{3,4}. Разработка перечня водоохраных мероприятий не может быть изолирована от оценки условий эксплуатации объекта и качества очистки сточных вод.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Пупырев Е.И. Решение задач проектирования энергоэффективных сооружений очистки воды // Строительство и реконструкция. 2015. № 4 (60). С. 173–182. EDN: UAXPFV.
2. Мартынова Г.А., Туренко Ф.П. Физико-химическая очистка сточных вод в условиях Крайнего Севера // Экология и промышленность России. 2006. № 5. С. 33–35. EDN: JWMGHN.
3. Шинкарчук М.В. Доочистка сточных вод методом биофильтрации // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2014. № 3 (75). С. 34–36. EDN: RWCBZH.
4. Ершова И.Ю., Василевич Э.Э. Использование биотехнологий для снижения экологической нагрузки от промышленных зон // Градостроительство. Теория, практика, образование. Материалы IV Всеросс. науч.-практ. конф.: сб. науч. трудов (г. Иркутск, 08 апреля 2022 г.). Иркутск, 2022. С. 402–407. EDN: EYNJDY.
5. Кондакова Н.В. Влияние очистных сооружений сточных вод на окружающую среду в результате выброса вредных веществ в атмосферу // Инженерный вестник Дона. 2021. № 4 (76). С. 466–475. EDN: FBDWVF.
6. Дагаева Е.В., Кудашева Ф.Х. Эффективность очистки сточных вод, поступающих в малые реки Крайнего Севера // Вестник Башкирского университета. 2016. Т. 21. № 2. С. 325–330. EDN: WKVDEJ.
7. Васильев А.Л., Гусейнова С.М., Луков С.А., Боровкова Т.Л. Анализ эффективности биологической очистки городских сточных вод от соединений азота и фосфора // Приволжский научный журнал. 2024. № 1 (69). С. 70–77. EDN: QNQEIL.

³Постановление Правительства РФ от 22.05.2020 № 728 «Об утверждении Правил осуществления контроля состава и свойств сточных вод и о внесении изменений и признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации»

⁴Постановление Правительства РФ от 22.05.2020 № 728 «Об утверждении Правил осуществления контроля состава и свойств сточных вод и о внесении изменений и признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации»

8. Кругликова А.В., Амбросова Г.Т., Рафальская Т.А. Процессы тепломассообмена между сточной жидкостью и окружающей средой // Строительство и техногенная безопасность. 2021. № 23 (75). С. 59–66. EDN: AJOCEQ.
9. Кульков В.Н., Солопанов Е.Ю. Восстановление видового состава биоценоза аэрируемых сооружений после длительного простоя // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2020. Т. 10. № 1. С. 77–83. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-1-77-83>. EDN: INF DUR.
10. Василевич Э.Э., Коновалов Ю.А. Экономические стратегии в системах водопроводно-канализационного хозяйства // Современные проблемы земельно-имущественных отношений, урбанизации территории и формирования комфортной городской среды: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. (г. Тюмень, 08–09 октября 2020 г.). Тюмень, 2021. С. 482–488. EDN: ATYXWT.
11. Геселько А.М., Ушакова И.Г. Учет особенностей суровых климатических условий Севера Сибири при проектировании систем водоснабжения и водоотведения // Каталог выпускных квалификационных работ ФГБОУ ВО Омский ГАУ: серия «Природообустройство и водопользование». Омск: Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 2022. С. 73–80. EDN: OIBAUN.
12. Кунахович В.А. Станция биологической очистки бытовых сточных вод контейнерного типа для северных территорий // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2017. № 6 (114). С. 58–63. EDN: YSDVAD.
13. Ильинский В.В., Крамаренко Е.В., Макаревич Е.В. Оценка функциональной активности активного ила локально-очистного сооружения, действующего в условиях Арктического региона // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. 2017. Т. 20. № 1-2. С. 157–164. <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2017-20-1/2-157-164>. EDN: ZCIONH.
14. 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.
15. Василенко М.И., Гончарова Е.Н. Оценка токсичности водных сред, содержащих соли тяжелых металлов // Вода Magazine. 2016. № 11 (111). С. 30–32. EDN: XBJJRZ.
16. Овчинникова И.Н., Ларсен Е.И. Роль НДТ в химии окружающей среды (на примере сточных вод) // Фундаментальные и прикладные исследования: от теории к практике. Материалы II междунар. науч.-практ. конф., приуроченной ко Дню российской науки (г. Воронеж – Кызыл-Кия, 05–09 февраля 2018 г.). Воронеж, 2018. С. 235–245. EDN: YXLEIP.

REFERENCES

1. Pupyrev E.I. The Task of Designing Energy Efficient Buildings Water Treatment. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2015;4(60):173-182. (In Russ.). EDN: UAXPFV.
2. Martynova G.A., Tourenko P.P. Physical-Chemical Purification of Sewage in Conditions of Far North. *Ecology and Industry of Russia*. 2006;5:33-35. (In Russ.). EDN: JWMGHN.
3. Shinkarchuk M.V. Wastewater Post-Treatment by Biofiltration. *Vodoочистка. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie*. 2014;3(75):34-36. (In Russ.). EDN: RWCBZH.
4. Ershova I.Yu., Vasilevich E.E. Using Biotechnology to Reduce Environmental Impacts from Industrial Zones. In: *Gradostroitel'stvo. Teoriya, praktika, obrazovanie. Materialy IV Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii: sbornik nauchnykh trudov = Urban Development. Theory, Practice, Education. Proceedings of The IV All-Russian Scientific and Practical Conference: Collection of Scientific Papers*. 08 April 2022, Irkutsk. Irkutsk; 2022. p. 402–407. (In Russ.). EDN: EYNJDY.
5. Kondakova N.V. The Impact of Wastewater Treatment Plants On the Environment as A Result of the Release of Harmful Substances into The Atmosphere. *Engineering Journal of Don*. 2021;4(76):466-475. (In Russ.). EDN: FBDWVF.
6. Dagaeva E.V., Kudasheva F.H. Efficiency of Purification of Wastewater Discharged to Small Rivers of the Far North. *Vestnik Bashkirskogo universiteta*. 2016;21(2):325-330. (In Russ.). EDN: WKVDEJ.
7. Vasilev A.L., Guseynova S.M., Lukov S.A., Borovkova T.L. Analysis of the Effectiveness Ofbiological Treatment of Municipal Wastewater from Nitrogen and Phosphorus Compounds. *Privolzhsky Scientific Journal*. 2024;1(69):70-77. (In Russ.). EDN: QNQEIL.
8. Kругликова А.В., Амбросова Г.Т., Рафальская Т.А. Processes of Heat and Mass Transfer between the Liquid Waste and the Environment. *Construction and Industrial Safety*. 2021;23(75):59-66. (In Russ.). EDN: AJOCEQ.
9. Kulkov V.N., Solopanov E.Yu. Restoring Biocenotic Species Composition in Aerated Structures Following Prolonged Downtime. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2020;10(1):77-83. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-1-77-83>. EDN: INF DUR.
10. Vasilevich E.E., Konovalov Yu.A. Economic Strategies in Water Supply and Sewerage Systems. In: *Sovremennye problemy zemel'no-imushchestvennykh otnoshenii, urbanizatsii territorii i formirovaniya komfortnoi*

gorodskoi srede: sbornik statei Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Modern Problems of Land and Property Relations, Urbanization of The Territory and The Formation of a Comfortable Urban Environment: a Collection of Articles from The International Scientific and Practical Conference. 08–09 October 2020, Tyumen. Tyumen; 2021. p. 482–488. (In Russ.). EDN: ATYXWT.

11. Geselko A.M., Ushakova I.G. Taking into Account the Features of Harsh Climatic Conditions the North of Siberia in The Design of Systems Water Supply and Sanitation. In: *Catalog of Final Qualification Works of FSBEI HE Omsk SAU: Series "Environmental Management and Water Use"*. Omsk: Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, 2022. p. 73–80. (In Russ.). EDN: OIBAUN.

12. Kunahovich V.A. The Container Type's Station for Biological Treatment of Domestic Sewage for Northern Territories. *Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie*. 2017;6(114):58-63. (In Russ.). EDN: YSDVAD.

13. Il'inskiy V.V., Kramarenko E.V., Makarevich E.V. Evaluation of the Functional Activity of Activated Sludge from Local Waste Water Treatment Plant in the Arctic Region. *Vestnik of MSTU. Scientific Journal of Murmansk State Technical University*. 2017;20(1-2):157-164. (In Russ.). <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2017-20-1/2-157-164>. EDN: ZCIONH.

14. 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.

15. Vasilenko M.I., Goncharova E.N. Evaluation of The Toxicity of Aqueous Media Containing Salts of Heavy Metals. *Water Magazine*. 2016;11(111):30-32. (In Russ.). EDN: XBJJRZ.

16. Ovchinnikova I.N., Larsen E.I. The Role of BAT in Environmental Chemistry (Using Wastewater as an Example). In: *Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya: ot teorii k praktike. Materialy II mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, priurochennoi ko Dnyu rossiiskoi nauki = Fundamental and Applied Research: From Theory to Practice. Proceedings of The II International Scientific and Practical Conference Dedicated to The Day of Russian Science*. 05–09 February 2018, Voronezh – Kyzyl-Kiya. Voronezh; 2018. p. 235–245. (In Russ.). EDN: YXLEIP.

Информация об авторах

Василевич Эльвира Эрнстовна,

к.т.н., доцент, доцент кафедры инженерных коммуникаций и систем жизнеобеспечения, Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия, e-mail: elvira.vasilevich@yandex.ru <https://orcid.org/0000-0001-7176-3185> Author ID: 329808

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 <https://orcid.org/0000-0002-9558-5018> Author ID: 689382

Дударев Владимир Иванович,

д.т.н., профессор, профессор кафедры химии и биотехнологии им. В.В. Тугуриной, Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия, e-mail: vdudarev@mail.ru <https://orcid.org/0000-0003-2378-7574> Author ID: 676659

Information about the authors

Elvira E. Vasilevich,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department Department of Engineering Communications and Life Support Systems, Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia, e-mail: elvira.vasilevich@yandex.ru <https://orcid.org/0000-0001-7176-3185> Author ID: 329808

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 <https://orcid.org/0000-0002-9558-5018> Author ID: 689382

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 <https://orcid.org/0000-0003-2378-7574> Author ID: 676659

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 16.08.2024.
одобрена после рецензирования 12.09.2024.
принята к публикации 16.09.2024.

Information about the article

The article was submitted 16.08.2024.
Approved after reviewing 12.09.2024.
Accepted for publication 16.09.2024.



Рекомендации по эксплуатации жилого помещения как путь повышения надежности и безопасности

А.Е. Журавлёв^{1✉}, А.В. Пешков²

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

Аннотация. По данным Росстата наблюдается устойчивый рост объемов ввода жилых площадей. Заметно увеличилось число построенных домов индивидуального строительства, а общая сумма введенных в эксплуатацию квадратных метров многоквартирных домов в 2023 г. побила рекорд на территории Российской Федерации. Многоквартирный дом сам по себе является достаточно сложной структурой, состоящей не только из отдельных помещений квартир, но и из инженерных систем, лестничных клеток, лифтов, чердаков, подвальных помещений и других конструктивных элементов. Владельцы зачастую не знают о параметрах своего жилого помещения, его конструктивных особенностях, расположении несущих конструкций и важных инженерных систем. В большинстве случаев жильцы не обращаются в специализированные организации, где могут составить проект ремонта или перепланировки. Результатом некоторых преобразований возможны такие изменения нагрузок на несущие конструкции и другие системы, которые могут привести к серьезным последствиям для всего жилого дома. В качестве меры предосторожности в статье предлагается дополнительно ввести «Руководство по эксплуатации жилого помещения», где будут указаны основные параметры и рекомендации, что в долгосрочной перспективе должно снизить вероятность возникновения аварийных ситуаций по вине собственников.

Ключевые слова: многоквартирный жилой дом, жилые помещения, несущие и ограждающие конструкции, эксплуатация, надежность и безопасность

Для цитирования: Журавлев А.Е., Пешков А.В. Рекомендации по эксплуатации жилых помещений как путь повышения надежности и безопасности // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 4. С. 727–734. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-4-727-734>. EDN: CUMFZC.

Original article

Recommendations for the operation of residential premises as a way to enhance their reliability and safety

Aleksander E. Zhuravlev^{1✉}, Artyom V. Peshkov²

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

Abstract. The Rosstat data shows a steady increase in the volume of residential premises being put into operation. Notably, the number of individual housing units has grown significantly, and the total area of multifamily buildings commissioned in 2023 reached a record high in the Russian Federation. A multifamily building is considered as a complex structure composed of individual apartment units, engineering systems, stairwells, elevators, attics, basements, and other structural elements. Property owners lack knowledge about the parameters and features of their residential premises, locations of load-bearing structures, and critical engineering systems. In most cases, residents do not seek assistance from specialized organizations for developing a renovation or reconfiguration project. Transformations may lead to changes in loads on the supporting structures and other systems, thereby providing certain risk for the entire residential building. In order to prevent serious consequences, the present paper suggests the “Residential Premise Operation Guideline” that outlines key parameters and recommendations to be introduced. In the long term, it should reduce the likelihood of emergency situations caused by the actions of the owners.

© Журавлев А.Е., Пешков А.В., 2024

Keywords: multi-apartment residential building, residential premises, load-bearing and enclosing structures, operation, reliability and safety

For citation: Zhuravlev A.E., Peshkov A.V. Recommendations for the operation of residential premises as a way to enhance their reliability and safety. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(4):727-734. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-4-727-734>. EDN: CUMFZC.

ВВЕДЕНИЕ

В Российской Федерации активно работает строительная отрасль. В 2020 г. общий ввод жилья на ее территории составил 82,2 млн м², что на 6,2 % выше показателя аналогичного периода 2019 г., из них доля многоквартирных домов – 42,4 млн м², что на 2,7 % ниже чем в 2019 г., доля индивидуального жилищного строительства – 39,8 млн м², что на 3,4 % выше чем в 2019 г.

В 2021 г. наблюдалось увеличение показателей ввода жилья: всего введено 92,6 млн м², что на 12,6 % выше чем в предыдущем 2020 г.

Состав вновь введенных площадей: по многоквартирным домам (МКД) – 43,5 млн м², что на 2,5 % превышает показатели 2020 г., по индивидуальному жилищному строительству (ИЖС) – 49,1 млн м², что на 23,4 % опять же превышает показатели 2020 г.

В 2022 г. Росстатом зафиксировано увеличение объемов ввода жилых площадей до 102,7 млн м². Это на 11 % больше, чем в 2021 г.

В общем объеме доля МКД составляет 44,3 % (45,5 млн м² с превышением показателя 2021 г. по абсолютной величине на 4,7 %). Соответственно доля ИЖС составила 55,6 %

(57,2 млн м² с приростом на 16,5 % по сравнению с 2021 г).

Тенденция повышения темпов ввода жилья для населения Российской Федерации сохранилась и в 2023 г. Так, при общем объеме 139,3 млн м² рост относительно того же показателя по предыдущему году составил 12,7 %.

По структуре финансирования деление имеет следующий вид: 14 263 домов общей площадью 80 645,7 тыс. м² возведено юридическими лицами, а 431 515 домов общей площадью 58 681 тыс. м² физическими лицами^{1,2}. Фиксируемые на современном этапе развития объемы жилищного строительства являются самыми большими за всю историю государства.

В общем жилом фонде в 2022 г. на одного жителя приходилось в среднем 28,2 м² жилой площади относительно 22,6 м² в 2010 г.

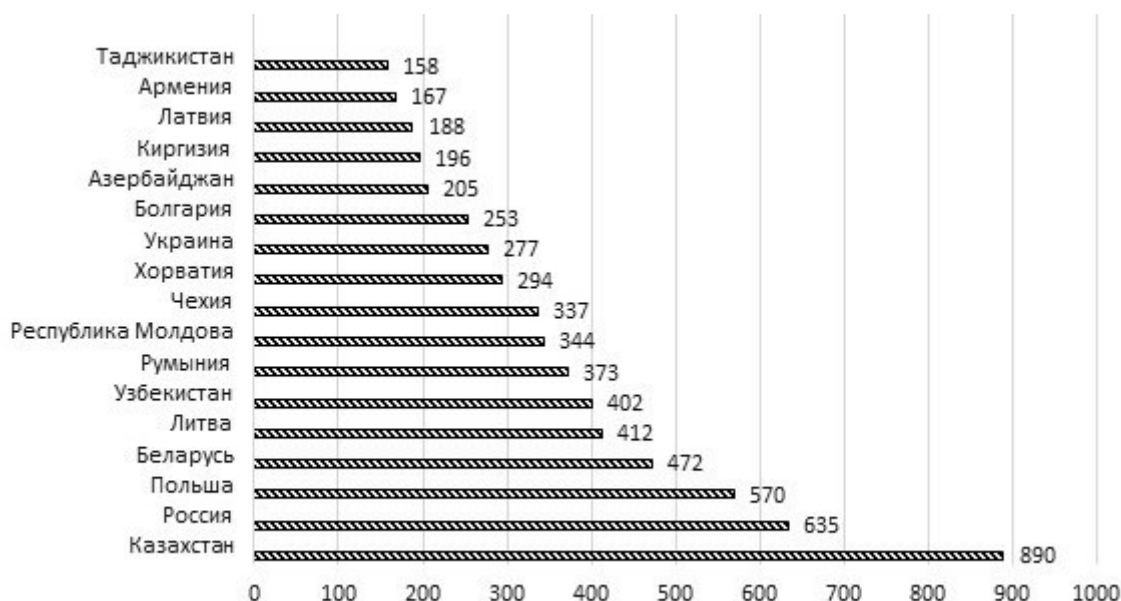
Общий объем сданных в эксплуатацию в 2022 г. жилых площадей среди субъектов распределялся следующим образом (таблица). Определенный интерес представляет оценка объемов жилищного строительства в сравнении с аналогичным показателем стран ближнего и дальнего зарубежья (рисунок).

Динамика ввода жилых домов в России
Dynamics of residential building commissioning in Russia

	2010	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Введено в действие жилых домов, тыс. шт.	201,6	283,0	286,1	259,5	253,8	242,4	285,8	308,0	383,4	413,0	465,5
Введено в действие общей площади жилых помещений, млн м ²	58,4	84,2	85,3	80,2	79,2	75,7	82,0	82,2	92,6	102,7	139,3
в % к предыдущему году	97,6	118,2	101,4	94,0	98,7	95,5	106,2	100,2	112,7	111,0	112,7

¹О жилищном строительстве в российской федерации в 2022 году // Росстат. 2022. Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/jil_stroi_2022.pdf (дата обращения: 27.02.2024).

²Ввод в действие (в эксплуатацию) зданий по их видам в 2023 году // Росстат. 2023. Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/storage/2023/03-30/uwAPfUX4/Doklad_12-2023/2-1-6_12-2023.doc (дата обращения 09.10.2024).



Ввод в действие жилых площадей (м²) в расчете на 1000 человек населения за 2021 г.
Commissioning of residential space (m2) per 1000 population in 2021

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В статье актуализированы вопросы снижения рисков возникновения аварийных ситуаций и (или) повреждения общего имущества при эксплуатации многоквартирных жилых домов путем снабжения каждого собственника помещения (жилого или нежилого) информацией о его характеристиках, расположении несущих конструкций, правилах эксплуатации и содержания, порядке согласования и проведения перепланировки или переустройства помещения.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

На фоне рекордных для Российской Федерации объемов ввода квадратных метров жилой площади растет число домов в предаварийном и аварийном состоянии.

Несвоевременно выявленные и неустраненные дефекты и повреждения зачастую обрачиваются серьезными конструктивными нарушениями гражданских и промышленных объектов, невозможностью использования всего объекта.

Поэтому важно правильно и своевременно оценивать состояние элементов гражданских и промышленных объектов, прогнозировать повреждения и их устранение еще на ранних этапах строительного производства.

Нормы проектирования и строительства сооружений учитывают большинство явлений, которые могут возникнуть в сооружении на последовательных этапах инвестиционного

процесса. Однако сложность как строительных процессов, так и длительной эксплуатации конструкции означает, что бывают ситуации, приводящие к повреждениям и выходу из строя конструктивных элементов здания. Несоответствие допущений в процессе проектирования реальным условиям в процессе исполнения и эксплуатации является основной причиной таких неудач. На основании ст. 36 Жилищного кодекса Российской Федерации собственникам жилых и нежилых помещений на праве общей долевой собственности принадлежат все элементы общего имущества в многоквартирном доме³. Состояние общего имущества многоквартирного дома должно исключать риски возникновения аварийных ситуаций и (или) повреждения общего имущества при эксплуатации МКД, обеспечивать безопасность для жизни и здоровья граждан, доступность пользования помещениями общего назначения⁴.

Согласно ст. 161 Жилищного кодекса Российской Федерации управление многоквартирным домом может осуществляться одним из следующих способов:

1. Непосредственное управление собственниками помещений многоквартирного дома, количество квартир в котором не превышает тридцати.

2. Управление товариществом собственников жилья, либо жилищным или специализированным потребительским кооперативом.

³Жилищный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 г. // КонсультантПлюс. 2024. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51057/ (дата обращения: 27.02.2024).

⁴Технический регламент о безопасности зданий и сооружений от 30.12.2009 № 384-ФЗ. // КонсультантПлюс. 2024. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_95720/ (дата обращения: 27.02.2024).

3. Управление специализированной управляющей организацией (компанией).

Появление новых отделочных материалов и бытового оборудования, большая доступность к изменениям своего жилого пространства, желание улучшения его эстетически и функционально в процессе эксплуатации ведет к неизбежной потребности улучшения качества и параметров жилых помещений, что, как правило, сопряжено с их перепланировкой и (или) переустройством.

Безопасность жителей здания определяется не только выполнением условий предельных состояний основных элементов конструкции, но и, например, наружных стен или плит перекрытия. Неисправности могут возникнуть и в результате повреждения перегородок.

Первоначально жесткие плиты перекрытия остаются опертыми только по краям несущих стен, а в средних зонах они прогибаются. Перегородки, изготовленные из различных материалов, помимо сжатия подвергаются напряжению сдвига при сейсмических воздействиях. Это может привести к появлению трещин и даже разрушению конструкции стены.

Особенно серьезно подобные деформации распространены в крупнопанельном строительстве. Такие здания распространены по всей Российской Федерации, где из-за дешевизны и массовости типовых проектов такое строительство было особенно распространено [1].

Выполнение собственниками жилых помещений перепланировок или переустройства далеко не всегда осуществляется с соблюдением требований законодательства, надежности и безопасности.

Самовольный демонтаж несущих стен может повлиять на устойчивость всего здания и даже стать причиной неустойчивости конструкции и обрушения, ставя под угрозу безопасность жизни.

Только повышая осведомленность ответственности о безопасности жилья, совершенствуя соответствующие законы и правила и придерживаясь принципов структурной безопасности, можно предотвратить возможные трагедии [2]⁵.

Даже небольшое вмешательство в конструктивную систему может привести к негативным последствиям. Ими могут стать судебные иски, экономические проблемы, если помещение было куплено с еще не закрытой

ипотекой, невозможность продажи. В такой ситуации собственнику не останется ничего, кроме как затрачивать время и деньги для компенсации принесенного ущерба [3].

Вмешательство в работу несущих конструкций, нарушение нормируемых условий эксплуатации многоквартирных жилых домов зачастую приводит к авариям. Наиболее значимые аварийные случаи в период с 2021 до 2023 г. осветили РИА Новости. Среди указанных событий особое внимание привлекают те, где произошли обрушения в результате несанкционированных перепланировок и других ремонтных работ⁶.

Любые изменения, ведущие к нарушению стыковых соединений сборных элементов, проломы и пробоины стен в разных зонах, трещины, смещение и проседание элементов относительно друг друга, могут приводить к серьезным нарушениям надежности и безопасности здания.

Основные вмешательства в работу несущих конструкций, приводящие к созданию аварийных ситуаций:

- разборка несущих стен;
- расширение существующих проемов в кирпичных стенах с нарушением условий опирания перемычек;
- устройство новых дверных проемов в несущих стенах;
- расширение оконных проемов;
- превышение постоянных проектных нагрузок при устройстве толстых стяжек полов, дополнительных кирпичных или блочных перегородок;
- превышение временных нагрузок при переводе жилых помещений в нежилые.

Нарушение надежности и безопасности чаще всего является следствием неосведомленности собственников о характеристиках и расположении несущих конструкций, правилах эксплуатации, порядке согласования и проведения перепланировки или переустройства жилого помещения.

При приобретении квартиры в новостройке или на вторичном рынке собственник получает только правоустанавливающие документы на недвижимость.

Стоит отметить, что к любому бытовому прибору, будь то утюг, кухонная плита или микроволновая печь при покупке прилагается руководство по эксплуатации, в котором подробно изложены технические характеристики,

⁵Private Demolition of Load-Bearing Walls Causing Evacuation of 200 Households // Horse. 2024. Режим доступа: <https://www.horseen.com/index/post/detail/id/138> (дата обращения: 15.03.2024).

⁶Случаи обрушения жилых домов в России в 2021–2023 годах // РИА Новости. 2023. Режим доступа: <https://ria.ru/20231116/obrushenie-1909951376.html> (дата обращения: 27.02.2024).

устройство, правила эксплуатации и ухода. А каких-либо документов, инструкций или адресных руководств на жилые помещения, являющихся достаточно сложными с технической точки зрения объектами, оснащенными современными инженерными системами и оборудованием, собственникам не предоставляется.

Проблемы эксплуатации здания не обязательно могут быть связаны с отдельной перепланировкой в отдельной квартире. Последствия неправильного использования и нарушения санитарного режима могут проявляться далеко не сразу, а постепенно подводить здание к аварийному состоянию, когда проводить ремонтные работы будет очень затратно или поздно [4, 5].

Проблема непроработанных и незарегистрированных перепланировок особенно опасна на фоне износа и устаревания уже существующего жилого фонда [6–11].

Было бы полезно при вводе в эксплуатацию многоквартирного жилого дома обеспечить каждого собственника жилого и нежилого помещения (при наличии таковых) адресным «Руководством по эксплуатации жилого помещения по адресу...» с информацией о технических характеристиках помещения, правилах эксплуатации, а для новостроек – рекомендации по проведению отделочных и ремонтных работ.

Это позволило бы снизить риски вмешательства в работу несущих конструкций и инженерных систем, обеспечить нормальные условия эксплуатации жилых домов и, следовательно, уменьшить опасность возникновения предаварийных и аварийных ситуаций, увеличить продолжительность жизненного цикла здания [8, 12, 13].

Необходимая информация о технических характеристиках жилого помещения и инженерных системах позволила бы собственнику избежать ошибок при разработке проекта перепланировки или переустройства.

Следовательно, «Руководство по эксплуатации жилого помещения» должно содержать:

- адрес помещения/квартиры;
- краткое описание жилого дома: его этажность, количество подъездов, лифтов, лестниц, наличие подвала и нежилых помещений;
- краткая характеристика несущих и ограждающих конструкций;
- допустимые постоянные и временные нагрузки на перекрытия;
- краткая характеристика инженерного оборудования;
- краткая характеристика системы вентиляции;
- перечень общедомового имущества;

- рекомендации по эксплуатации общедомового имущества;
- рекомендации по пользованию лифтами;
- рекомендации по эксплуатации помещений;
- правила поведения при аварийных ситуациях, включая повреждения инженерных систем;
- рекомендации по проведению отделочных и ремонтных работ:
- предельная толщина стяжки пола;
- звукоизоляция полов;
- гидроизоляция санузлов
- рекомендуемые конструкции перегородок;
- рекомендации по устройству и способах прокладки внутриквартирных трубопроводов холодного и горячего водоснабжения, расположении запорной арматуры;
- рекомендации по прокладке электропроводки, допустимых электрических нагрузках и сечениях проводов;
- рекомендации по обеспечению вентиляции помещений.

Возникает правомерный вопрос: «Кто будет задействован в разработке рекомендаций?». Техническими возможностями для этого обладают проектные организации, в части описания технических характеристик здания и жилого помещения, особенно это актуально для домов, проектирующихся или только вводимых в эксплуатацию.

Данное предложение должно стать хорошим подспорьем для управляющих компаний в части разработки рекомендаций по эксплуатации.

В долгосрочной перспективе, особенно если рекомендации и данные о жилой площади содержатся в цифровом формате, разумеется с ограниченным доступом для редактирования, такие важные данные о различных постоянных и временных нагрузках в зданиях могут быть применены для моделирования в реальном времени цифровых двойников и реестров, на основании которых управляющим компаниям можно будет планировать важные мероприятия по текущему и капитальному ремонту и дальнейшую эксплуатацию здания [13–15]. Такое документальное нововведение будет особо актуально для только проектируемых зданий. Для уже существующих зданий стоит как минимум предусмотреть подобное «Руководство по эксплуатации» на базе типовых проектов массового строительства, которые повсеместно распространены на территории Российской Федерации.

В таких домах под воздействием экономических тенденций развивается малый бизнес

на первых этажах, что ведет к изменениям нагрузок на конструкции жилого дома [16]. Решение вопроса возможно только на законодательном уровне, это особенно важно для установления единого стандарта «Руководства по эксплуатации жилого помещения», и для обязательности выполнения и предоставления данных от строительных компаний. В дальнейшем подобная практика должна будет распространиться уже на нежилые и коммерческие здания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Прослеживается рост объемов нововведенных площадей жилых и нежилых объектов, при этом на фоне растет количество объектов аварийного и предаварийного состояния. С целью избежать части аварий, которые могут происходить в результате действий собственников помещений предложено обеспечить каждого собственника «Руководством по

эксплуатации жилого помещения», где в доступном виде будет содержаться информация о технических характеристиках жилого дома и помещения, о допустимости или недопустимости тех или иных изменений в планировочной структуре конкретного здания. Для новостроек, помимо базовых рекомендаций, предложено ввести дополнительные по проведению отделочных и ремонтных работ. Нововведение позволит сделать процессы эксплуатации жилых, коммерческих и промышленных зданий более контролируемыми. При должной технической оснащенности и информации от собственников уже можно будет составлять цифровую модель здания, на основе которой можно будет более четко планироваться капитальный ремонт, реконструкцию и реновацию, а при массовом внедрении прогнозировать не на уровне отдельного здания, а на уровне города и даже страны в целом.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Mackiewicz M., Krentowski J.R., Knyziak P., Wardach M. Consequences of Excessive Deformation of Structural Elements in Precast Buildings // *Engineering Failure Analysis*. 2022. Vol. 137. P. 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106261>.
2. Климаков Е.А. Действия, являющиеся самовольными изменениями объектов недвижимости: проблемы и пути их решения // *Вестник науки*. 2023. Т. 1. № 10. С. 158–163. EDN: ZQWBBZ.
3. Wong A.C.K. Breaking Bad: The Civil Consequences of Breaking the Wrong Wall // *Rede Chambers*. 2023. Режим доступа: https://redechambers.com/generate_insight_pdf.php?id=1983&lang=en (дата обращения: 30.09.2024).
4. Пахомова А.О. Понятие и признаки перепланировки и переустройства жилых помещений по законодательству РФ // *Форум молодых ученых*. 2021. № 11 (63). С. 331–338. EDN: QXPTPG.
5. Девятникова Л.А., Симонова А.А. Влияние условий эксплуатации на разрушение конструкций жилых домов из древесины // *Resources and Technology*. 2020. Т. 17. № 3. С. 36–49. <https://doi.org/10.15393/j2.art.2020.5242>. EDN: INPPGL.
6. Куулар Ч.Ш. Причины возникновения преждевременных дефектов в жилых зданиях, вводимых в эксплуатацию за 15–10 лет // *Вестник Тувинского государственного университета. Технические и физико-математические науки*. 2022. № 1 (90). С. 26–33. <https://doi.org/10.24411/2221-0458-2022-90-26-33>. EDN: BRYSCX.
7. Шнейдерман И.М., Гришанов В.И., Гузанова А.К., Ноздрина Н.Н. Проблемы ветхого и аварийного жилья в России // *Народонаселение*. 2019. Т. 22. № 4. С. 18–35. <https://doi.org/10.24411/1561-7785-2019-00036>. EDN: WASUOB.
8. Bandurin M.A., Volosukhin V.A., Vanzha V.V., Mikheyev A.V. Non-Destructive Testing Application for Diagnosis of Long-Running Civil and Industrial Facilities Under Special Climatic Conditions // *Actual Issues of Mechanical Engineering. Advances in Engineering Research*. 2018. Vol. 157. P. 70–75. <https://doi.org/10.2991/aime-18.2018.14>.
9. Dement'eva M.E. Integrated Technique of Planning the Capital Repair of Residential Buildings and Objects of Transport Infrastructure // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2017. Vol. 90. P. 1–9. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/90/1/012052>. EDN: XNIUXU.
10. Морозова А.П., Орлов А.К. Практические рекомендации по установлению причинно-следственных связей между деформациями и произведенной перепланировкой при производстве судебной строительно-технической экспертизы // *Юридическая наука*. 2019. № 5. С. 65–67. EDN: JDZSRZ.
11. Mackiewicz M., Krentowski J.R., Knyziak P., Wardach M. Consequences of Excessive Deformation of Structural Elements in Precast Buildings // *Engineering Failure Analysis*. 2022. Vol. 137. P. 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106261>.
12. Andersen R., Jensen L.B., Ryberg M. Using Digitized Public Accessible Building Data to Assess the Renovation Potential of Existing Building Stock in A Sustainable Urban Perspective // *Sustainable Cities and Society*. 2021. Vol. 75. P. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103303>.

13. Buchholz M., Lützkendorf T. European Building Passports: Developments, Challenges and Future Roles // *Buildings and Cities*. 2023. Vol. 4. Iss. 1. P. 902–919. <https://doi.org/10.5334/bc.355>.
14. Иванова И.Б., Васильева А.Ю. «Цифровой двойник» здания: отличие от BIM-технологий, источники эффективности применения в жилищно-коммунальном хозяйстве // *Социально-экономическое управление: теория и практика*. 2021. № 2 (45). С. 43–49. <https://doi.org/10.22213/2618-9763-2021-1-43-49>. EDN: SDONXT.
15. Полупанова Ю.Р., Баранова Д.В., Латухина А.И., Петrochenko M.B. Применение цифрового двойника для прогнозирования параметров износа зданий // *Неделя науки СПбПУ* (г. Санкт-Петербург, 18–23 ноября 2019 г.). СПб, 2019. С. 265–267. EDN: YTZUEP.
16. Пешков В.В., Журавлев А.Е. Реализация принципов адаптивности при проектировании многоэтажных жилых зданий с нежилыми помещениями // *Известия вузов. Строительство*. 2023. № 4. С. 105–114. <https://doi.org/10.32683/0536-1052-2023-772-4-105-114>. EDN: SDHFXF.

REFERENCES

1. Mackiewicz M., Krentowski J.R., Knyziak P., Wardach M. Consequences of Excessive Deformation of Structural Elements in Precast Buildings. *Engineering Failure Analysis*. 2022;137:1-10. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106261>.
2. Klimakov E.A. Actions That Are Unauthorized Changes to Real Estate Objects: Problems and Ways to Solve Them. *Vestnik nauki*. 2023;1(10):158-163. (In Russ.). EDN: ZQWBBZ.
3. Wong A.C.K. Breaking Bad: The Civil Consequences of Breaking the Wrong Wall. *Rede Chambers*. 2023. Available from: https://redechambers.com/generate_insight_pdf.php?id=1983&lang=en [Accessed 30th September 2024].
4. Pakhomova A.O. The Concept and Signs of Redevelopment and Reconstruction of Residential Premises According to The Legislation of the Russian Federation. *Forum molodykh uchenykh*. 2021;11(63):331-338. (In Russ.). EDN: QXPTPG.
5. Deviatnikova L.A., Simonova A.A. Influence of Operating Conditions On the Destruction of Wooden Residential Houses Constructions. *Resources and Technology*. 2020;17(3):36-49. (In Russ.). <https://doi.org/10.15393/j2.art.2020.5242>. EDN: INPPGL.
6. Kuular Ch.Sh. The Causes of Early Defects in Residential Buildings Put into Operation Over the Past 15–10 Years. *Vestnik of Tuvan State University. Technical sciences, physical and mathematical sciences*. 2022;1(90):26-33. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/2221-0458-2022-90-26-33>. EDN: BRYSCX.
7. Schneiderman I.M., Grishanov V.I., Guzanova A.K., Nozdrina N.N. The Problems of Dilapidated and Emergency Housing in Russia. *Population*. 2019;22(4):18-35. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/1561-7785-2019-00036>. EDN: WASUOB.
8. Bandurin M.A., Volosukhin V.A., Vanzha V.V., Mikheyev A.V. Non-Destructive Testing Application for Diagnosis of Long-Running Civil and Industrial Facilities Under Special Climatic Conditions. *Actual Issues of Mechanical Engineering. Advances in Engineering Research*. 2018;157:70-75. <https://doi.org/10.2991/aime-18.2018.14>.
9. Dement'eva M.E. Integrated Technique of Planning the Capital Repair of Residential Buildings and Objects of Transport Infrastructure. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2017;90:1-9. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/90/1/012052>. EDN: XNIUXU.
10. Morozova A.P., Orlov A.K. Practical Recommendations On Establishment of Cause-Andeffect Relations Between Deformations and The Made Replanning at Production of Judicial Construction and Technical Examination. *Legal Science*. 2019;5:65-67. (In Russ.). EDN: JDZSRZ.
11. Mackiewicz M., Krentowski J.R., Knyziak P., Wardach M. Consequences of Excessive Deformation of Structural Elements in Precast Buildings. *Engineering Failure Analysis*. 2022;137:1-10. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106261>.
12. Andersen R., Jensen L.B., Ryberg M. Using Digitized Public Accessible Building Data to Assess the Renovation Potential of Existing Building Stock in A Sustainable Urban Perspective. *Sustainable Cities and Society*. 2021;75:1-8. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103303>.
13. Buchholz M., Lützkendorf T. European Building Passports: Developments, Challenges and Future Roles. *Buildings and Cities*. 2023;4(1):902-919. <https://doi.org/10.5334/bc.355>.
14. Ivanova I.B., Vasilyeva A.Y. The “Digital Twin” Of A Building: The Difference from BIM Technologies, Sources of Efficiency of Use in Housing and Communal Services. *Sotsial'no-ekonomicheskoe upravlenie: teoriya i praktika*. 2021;2(45):43-49. (In Russ.). <https://doi.org/10.22213/2618-9763-2021-1-43-49>. EDN: SDONXT.
15. Polupanova Yu.R., Baranova D.V., Latukhina A.I., Petrochenko M.V. Using A Digital Twin to Predict Building Wear Parameters. In: *Nedelya nauki SPBPU = Science Week SPBPU*. 18–23 November 2019, Saint Petersburg. Saint Petersburg, 2019. p. 265–267. (In Russ.). EDN: YTZUEP.

16. Peshkov V.V., Zhuravlev A.E. Implementation of Adaptability Principles in The Design of Multi-Storey Residential Buildings with Non-Living Premises. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2023;4:105-114. <https://doi.org/10.32683/0536-1052-2023-772-4-105-114>. EDN: SDHFXF.

Информация об авторах

Журавлёв Александр Евгеньевич,
аспирант,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
✉ e-mail: poplavok38rus@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-6660-1541>

Пешков Артем Витальевич,
к.э.н., доцент, доцент кафедры
строительного производства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
e-mail: artempeshkov@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5027-5120>
Author ID: 670943

Information about the authors

Alexander E. Zhuravlev,
Postgraduate Student,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
✉ e-mail: poplavok38rus@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-6660-1541>

Artem V. Peshkov,
Cand. Sci. (Econ.), Assistant Professor,
Assistant Professor of the Department
of Construction Production,
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

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад
в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

Все авторы прочитали и одобрили
окончательный вариант рукописи.

Conflict of interests

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

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

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 10.09.2024.
Одобрена после рецензирования 26.09.2024.
Принята к публикации 27.09.2024.

Information about the article

The article was submitted 10.09.2024.
Approved after reviewing 26.09.2024.
Accepted for publication 27.09.2024.



Исследование процессов вторичного минералообразования в водопроводных скважинах питьевого назначения

А.И. Кармалов¹, Ю.Л. Сколубович²,
Р.В. Чупин^{3✉}, Мелехов Е.С.⁴

^{1,2}Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин),
г. Новосибирск, Россия

^{3,4}Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Аннотация. Вопросы интенсификации работы водозаборных скважин, их безопасности для населения и надежности функционирования являются актуальными и важными в эксплуатационной практике систем водоснабжения населенных мест и городов. Из-за отсутствия нормативной и законодательной базы эксплуатации водозаборных скважин, несовершенных правил их содержания, несвоевременных текущих и капитальных ремонтов многие из них работают неэффективно, закольматированы и прежде времени вышли из строя. Большой процент вышедших из строя скважин консервируются без попыток их восстановления. Вместо этого пробуриваются новые скважины, что наносит значительный ущерб окружающей среде и недрам земли. Для восстановления вышедших из строя и повышения эффективности еще находящихся в работе требуется провести исследования процессов образования значительного количества осадков, наметить пути их удаления и предотвращения. В конструкциях водозаборных скважин используются обсадные трубы, проволоочные и сетчатые фильтры, состоящие из каркасов с щелевыми отверстиями различного диаметра. Все элементы изготавливаются из стали, поэтому подвержены коррозии и биообрастанию, отличаются низкой эффективностью, надежностью и долговечностью. Важными показателями являются учет вещественного состава отложений, их структурные и минералогические особенности, закономерности и механизмы формирования осадков. В статье приведены результаты исследований процессов химического, физико-химического, биологического и бактериологического кольматажа фильтров водозаборных скважин, раскрыты механизмы этих процессов, разработаны средства диагностики, созданы новые технологии и установки для восстановления вышедших из строя скважин, сформулированы правила их эффективной эксплуатации.

Ключевые слова: водозаборные скважины для питьевого водоснабжения, кольматация, методы очистки, фильтры из полиэтилена

Для цитирования: Кармалов А.И., Сколубович Ю.Л., Чупин Р.В., Мелехов Е.С. Исследование процессов вторичного минералообразования в водопроводных скважинах питьевого назначения // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 4. С. 735–745. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-4-735-745>. EDN: JMNAQW.

Original article

Investigation of secondary mineral formation in potable water intake wells

Alexander I. Karmalov¹, Yuriy L. Skolubovich²,
Roman V. Chupin^{3✉}, Evgeny S. Melekhov⁴

^{1,2}Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Novosibirsk, Russia

^{3,4}Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. The intensification of the operational efficiency of water intake wells, their reliability and safety for the population are considered relevant in terms of the operational practice of water supply sys-

tems for urban areas. Due to the lack of regulatory and legislative frameworks for water intake wells, inadequate maintenance protocols, as well as untimely routine and major repairs, many of these wells operate inefficiently, become clogged, and prematurely come out of action. A considerable percentage of non-functional wells are put into conservation without any restoration. Instead, new wells are drilled, causing significant harm to the environment and the earth's interior. In order to restore non-functional wells and enhance the efficiency of those still in operation, it is essential to investigate the processes that lead to the substantial accumulation of sediment, and to identify methods for their removal and prevention. The construction of water intake wells involves casing pipes and wire or mesh filters, which consist of frameworks with slot openings of various diameters. All components are made of steel, and are thus susceptible to corrosion and biofouling. They exhibit low efficiency, reliability, and durability. Important indicators include consideration of the material composition of sediments, their structural and mineralogical characteristics, as well as the mechanisms of sediment formation. The paper presents the results of the investigation of chemical, physicochemical, biological, and bacteriological clogging of water intake well filters, as well as discovers the mechanisms of these processes, develops diagnostic tools, introduces new technologies and systems for the restoration of non-functional wells, and, finally, provides guidelines for their effective operation.

Keywords: water intake wells for drinking water supply, colmatation, cleaning methods, polyethylene filters

For citation: Karmalov A.I., Skolubovich Y.L., Chupin R.V., Melekhov E.S. Investigation of secondary mineral formation in potable water intake wells. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(4):735-745. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-4-735-745>. EDN: JMNAQW.

ВВЕДЕНИЕ

В результате откачки воды из водоносных слоев и горизонтов на поверхности трубопроводного ствола скважин, оборудования и фильтров формируются твердые минеральные образования из различных солей.

В значительных объемах подобные отложения накапливаются в окрестностях скважин, включая зоны фильтров и оборудование, такое как насосы, счетчики воды и трубопроводы. Их можно заметить на фильтрах водозаборных узлов и скважин.

Например, на крупных водозаборах, подобных Томскому, в пределах околоскважинного пространства и фильтрационных зон, ежегодно образуется несколько сотен тонн разнообразных осадочных материалов (табл. 1)¹.

Профессором Дутовой Екатериной Матвеевной из Национального исследовательского Томского политехнического университета совместно с Кармаловым Александром Ивановичем проведена оценка состава отложений, минеральных новообразований водоподъемного и фильтрующего оборудования скважин водозаборов г. Томска, Северска и Асино. Это

необходимо для подбора оптимального реагента для растворения колюматанта, препятствующего нормальной работе скважин. Лабораторный анализ проб воды, взятых из эксплуатационных и наблюдательных скважин, свидетельствует о том, что техногенное загрязнение затронуло водоносный комплекс палеогеновых отложений.

Это проявляется в увеличении показателей общей минерализации, а также концентраций хлоридов, сульфатов и аммония на некоторых участках водозаборной территории.

В результате химический состав вод претерпел изменения – вместо привычных гидрокарбонатных кальциевых вод стали преобладать гидрокарбонатно-хлоридные и хлоридные растворы с высоким содержанием катионов натрия.

При этом могут образовываться пленки различной толщины.

По мере ее увеличения под действием силы тяжести происходит отрыв пленок и оседание их в отстойнике или на забое. Коррозионные процессы приводят к образованию многочисленных питтингов и язв из-за чего водоподъемное оборудование приходит в негодность.

¹Ведение мониторинга подземных вод на лицензионных участках пользования недрами ООО «Томскводоканал» (Томский водозабор): отчет. Томск: Томскводоканал, 2024. 109 с.

Таблица 1. Масштабы образования осадков на фильтрах водозаборов из подземных источников Томской области по данным за 2023 г.

Table 1. The scale of sediment formation on filters of water intakes from underground sources in the Tomsk region according to data for 2023

Водозабор	Производительность (тыс. м ³ /сут) 2002 г.	Производительность (тыс. м ³ /сут) 2024 г.	Потери вещества на фильтрах, (мг/дм ³) 2002 г.		Потери вещества на фильтрах, (мг/дм ³) 2024 г.		Образование осадка, (т/г.) 2002 г.		Образование осадка, (т/г.) 2024 г.	
г. Томск	231,8	143,232	5	1,5	4	1,2	423	141	91,6	30,5
г. Северск	50,26	44,56 (20,00+24,56)	5	1,5	5	1	91,6	30,5	74,8	37,4
г. Асино	12,5	10,0	8	4	8	4	74,8	37,4	91,6	30,5

Техногенное загрязнение хлоридами и сероводородными соединениями приводит к изменению геохимических особенностей воды в подземных горизонтах.

Изменения геохимических условий вызывают усиление агрессивности среды к металлическим и железобетонным конструкциям инженерных сооружений водозабора.

На водозаборных скважинах зачастую регистрируются эпизоды коррозии элементов водоподъемного оборудования и практически полное закупоривание сечения труб железосодержащими отложениями (рис. 1). Как правило, этот процесс сопровождается зарастанием фильтра, которое интенсивно проявляется с его внутренней стороны:

размер отверстий уменьшается из-за осаждения в них различных минерализованных веществ (рис. 2, 3).

Трансформация химического состава воды инициирует процесс кристаллизации вторичных минеральных соединений, что приводит к образованию твердых отложений на технологическом оборудовании, используемом на водозаборных станциях. Эти минеральные осадки формируются в прискважинной зоне, в области расположения фильтров, а также непосредственно на поверхности оборудования (включая насосы, водомеры, трубопроводы). Отложения появляются в фильтрах водозаборных систем, распределительных сетях, сантехническом оборудовании и бытовых устройствах.



Рис. 1. Водоподъемные трубы артезианской скважины
Fig. 1. Water-lifting pipes of an artesian well



Рис. 2. Фильтр артезианской скважины.
Отдельные отверстия фильтра перекрыты кольматантами
Fig. 2. Artesian well filter. Individual filter holes are blocked with colmatants



Рис. 3. Отложения на фильтре артезианской скважины
Fig. 3. Deposits on the filter of an artesian well

МЕТОДЫ

Как показали исследования, кольматирующие отложения водозаборов Западно-Сибирского региона, закупоривающие водоприемную часть и прифильтровую зону скважин, имеют множество различных компонентов [1–3]. На рис. 4 представлены осадки внутри

водоподъемной трубы артезианской скважины, образовавшиеся в течение года. Толщина слоя составляет 3 см. Столь интенсивное осадкообразование связано с особенностями химического состава подземных вод участка. Было отмечено, что осадконакопление более развито на высокодебитных скважинах водозабора № 1.

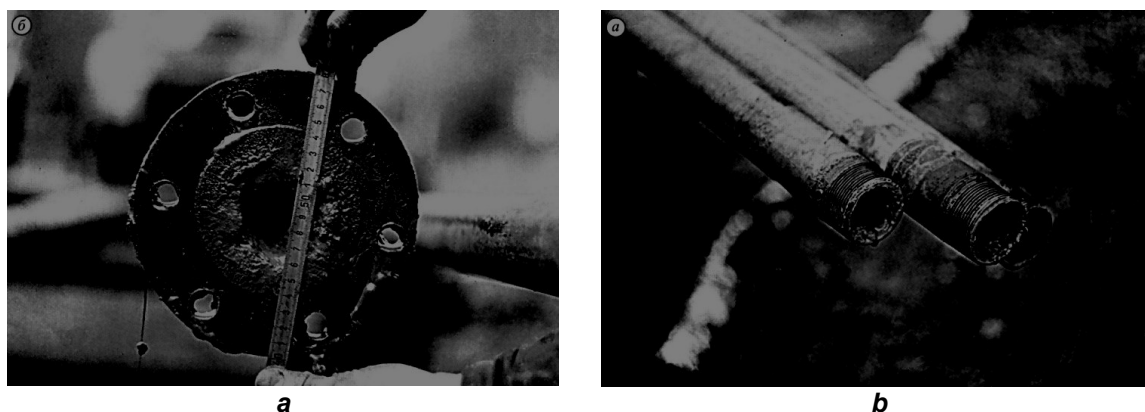


Рис. 4. Осадки на внутренних поверхностях водоподъемных труб (а) и насосного фланца (b)
Fig. 4. Sedimentation on the internal surfaces of water-lift pipes (a) and pump flange (b)

Подземные воды эксплуатируемого на участках водозаборов № 1 и № 2 Северского месторождения водоносного комплекса характеризуются природно-повышенными концентрациями железа общего (0,42–16 мг/л) [4].

Срок службы этих скважин, глубиной от 50 до 130 м, которые были оборудованы сетчатыми фильтрами диаметром 325 мм и

длиной от 15 до 20 м, варьируется от 30 до 60 лет. Отбор образцов кольматантов производился в специальные ловушки во время проведения телеинспекций скважин (рис. 5, 6).

Химический состав отложений определяли в Проблемной научно-исследовательской лаборатории и лаборатории грунтоведения и механики грунтов (рис. 7).

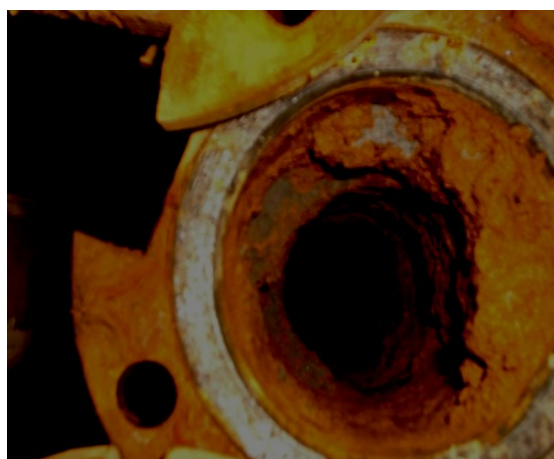


Рис. 5. Осадки в водоподъемной трубе на скважине № 14 водозабора № 1
Fig. 5. Sediment in the water-lift pipe at well № 14 of water intake № 1

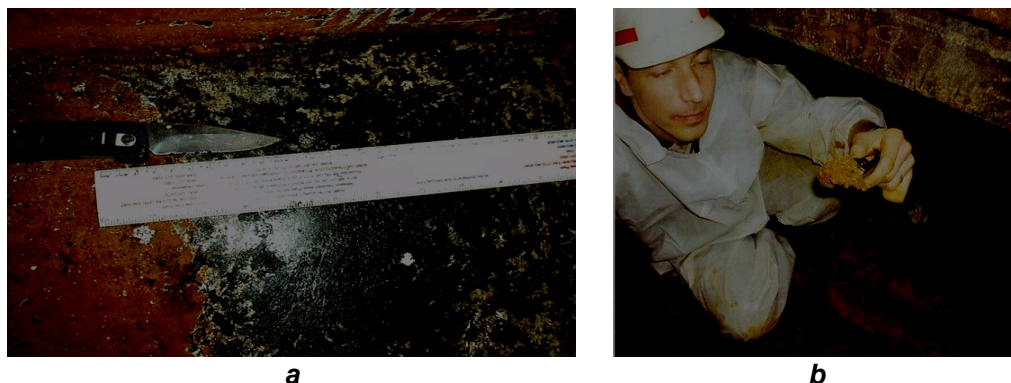


Рис. 6. Характер отложений на оборудовании (а), ловушка с осадком (b)
Fig. 6. The nature of deposits on the equipment (a), trap with sediment (b)



Рис. 7. Определение химического состава отложений водозаборов
Fig. 7. Determination of the chemical composition of water intake deposits

В табл. 2 представлены результаты химического анализа кольяматанта, который представляет собой сложную систему. Он состоит из солей кальция, магния и марганца в форме карбонатов, а также из соединений железа: гидроксида, оксида, сульфата и фосфата.

Данные о содержании веществ представлены в виде показателей

содержания оксидов основных элементов. Например, значение Fe_2O_3 отражает общее количество всех соединений железа в образце. Это могут быть такие соединения, как $\text{Fe}(\text{OH})_3$, Fe_2O_3 , FePO_4 , FeS . Следовательно, значения CaO , MnO и MgO показывают содержание соответствующих карбонатов: CaCO_3 , MnCO_3 и MgCO_3 . Потери

при прокаливании (при температуре 900 °С)	CaCO ₃	Прокал.	CaO + CO ₂	(1)
указывают на количество веществ, которые улетучиваются в процессе разложения.	MgCO ₃	Прокал.	MgO + CO ₂	(2)
Соответственно, карбонатов – углекислый газ	MnCO ₃	Прокал.	MnO + CO ₂	(3)
CO ₂ , а при прокаливании гидроксида железа – пары воды H ₂ O согласно реакциям:	2Fe(OH) ₃	Прокал.	Fe ₂ O ₃ + 3H ₂ O	(4)

Таблица 2. Химический состав отложений водозаборов

Table 2. Chemical composition of water intake deposits

Место отбора кольматанта	Содержание по весу, %											
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	ППП	FeO
Скважины Томского водозабора	4,92	0,29	63,89	0,92	7,72	< 0,2	0,03	0,15	7,63	0,24	14,71	0,36
Скважины Северского водозабора	4,55	0,31	70	5	3,47	< 0,02	0,1	0,21	1,12	0,34	15,37	0,78
Скважины Орловского водозабора (г. Асино)	7,72	0,57	68,73	1,5	3,86	0,56	0,1	0,15	2,88	0,2	14,22	0,84

Примечание: ППП – потери при прокаливании

Анализ проб осадка, собранного с электропогружных насосов, показал, что его химический состав преимущественно состоит из гидроксидов железа Fe(OH)₃.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На технологическом оборудовании водозаборных систем формируются два основных типа минеральных отложений: аморфные охристые осадки и минералы с устойчивым структурированным каркасом. С генетической точки зрения оба этих типа осадков имеют сходство: они образуются в результате изменения физико-химических характеристик окружающей среды, тогда как различия в их морфологии определяются гидродинамическими условиями формирования.

Охристые отложения формируются преимущественно в зонах активного движения воды, включая фильтрующие элементы и подъемные трубы эксплуатационных скважин, погружные насосы и контрольно-измерительную аппаратуру. Также они могут накапливаться в процессе осаждения воды после промывки зернистых фильтров. Концентрация охры изменяется: вблизи

поверхности она имеет консистенцию густой сметаны, а ближе к центру становится плотнее, напоминая пасту. При высыхании охра твердеет, но сохраняет способность к измельчению до порошкообразного состояния.

Второй тип минеральных новообразований образуется на зерновой загрузке фильтров водоочистных сооружений. Эти отложения обладают концентрически-слоистой структурой, характеризующейся чередованием слоев различной толщины и окраски, и на основании комплекса признаков идентифицируются как оолиты [3, 4].

После сушки на воздухе их структура остается неизменной, и разрушение возможно исключительно под действием механических нагрузок².

Частицы взвесей оседают на поверхности зерен, образуя пленку, толщина которой постепенно увеличивается, несмотря на периодическое удаление при промывках фильтра.

Исследование состава и структуры оолитов было выполнено с использованием сканирующего электронного микроскопа VEGA I LMU, оборудованного энергодисперсионным

²Ламинский А.И., Климова Н.А., Пушкарева А.Г. Ведение мониторинга подземных вод в зонах санитарной охраны водозаборов № 1 и 2 г. Северск: технический отчет. Томск, 2010. 175 с.

спектрометром INC A Energy, в Центре коллективного пользования Аналитического центра геохимии природных систем Томского государственного университета.

Электронная микроскопия позволила выявить концентрически-слоистую структуру пленочных осадков, образовавшихся вокруг зерен загрузки. Толщина осадочной пленки варьирует в зависимости от продолжительности эксплуатации фильтра и может достигать значений от долей миллиметра до 1 мм [5]. В рассматриваемом случае толщина индивидуальных слоев пленки колеблется в пределах от 10 до 45 мкм.

В рамках исследования также были выявлены дополнительные факторы, оказывающие негативное влияние на оборудование эксплуатационных скважин. Это связано с обнаружением повышенного содержания растворенных газов углеводородного происхождения в подземных водах водозабора № 1 г. Северска. Особое внимание привлекло наличие метана в подземных водах. Хотя основными газообразными компонентами, присутствующими в воде, являются азотистые соединения, обогащенность палеогеновых пород (в частности, Новомихайловской свиты) органическими веществами природного и антропогенного происхождения приводит к увеличению объемов образования метана на некоторых участках подземной водной системы. Содержание метана в воде скважин водозаборов варьирует в диапазоне от 0,03 до 4 мл/л. Максимальная концентрация этого газа отмечается в северо-западной и юго-восточной частях водозаборного участка, минимальная – в юго-западной. Колебания уровня метана объясняются изменениями гидрохимического состояния, вызванными техногенными загрязнениями подземных вод на определенных территориях, а также нарушением режима водоотбора в скважинах или техническими неполадками в их функционировании [6].

Повышение концентрации метана в извлекаемой воде может способствовать активизации жизнедеятельности метанобразующих бактерий. В условиях стагнации воды в трубопроводе, например, при остановке скважины, перекрытии задвижек и иных аналогичных ситуациях, процессы метанообразования усиливаются [7, 8]³.

Микробиологические анализы подземных вод выявили присутствие метанобактерий во всех 20 исследованных пробах воды, отобранных из скважин водозабора. Эти микроорганизмы создают потенциальную угрозу для инженерных конструкций водозаборных комплексов, способствуя возможному накоплению метана в павильонах скважин и колодцах.

В сочетании с другими видами бактерий, обитающих в водоносных горизонтах (денитрифицирующими, сульфатредуцирующими, нитрифицирующими, гетеротрофными и углеводородокисляющими), они формируют агрессивную коррозионную среду [9–13].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ динамики изменения гидрогеохимических параметров водозаборов, обеспечивающих население питьевой водой из подземных источников, выявил причины временных флуктуаций гидрогеохимических показателей разрабатываемых месторождений.

Основным фактором этих изменений выступает нарушение гидродинамического и гидрогеохимического режимов из-за длительной эксплуатации при повышенном техногенном воздействии. Исследование микробиологического состава подземных вод водозабора № 1 г. Северска продемонстрировало наличие значительного количества и разнообразия физиологических групп микроорганизмов, способных оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на качество воды и состояние скважинного оборудования.

Интенсивность образования осадков и развития коррозии на оборудовании водозаборных скважин определяется несколькими факторами: производительностью скважин (наиболее интенсивная кольматация и инкрустация наблюдаются у высокопродуктивных скважин), химическим составом подземных вод, а также наличием многочисленных бактериальных сообществ, вовлеченных в разложение органических и минеральных соединений. Увеличение техногенной и антропогенной нагрузки, наряду с активизацией метанобразующих бактерий, ведет к росту численности этих микроорганизмов, совместно с другими бактериями создающих агрессивную коррозионную среду. Изменение химического

³Шинкаренко В.П. Информационно-аналитическая записка по изучению микрофлоры подземных вод и ее коррозионной активности (водозаборы г. Северска). Томск, 2001. 93 с.

состава воды стимулирует вторичное минералообразование и формирование осадков на технологическом оборудовании. Эти осадочные отложения представляют собой полиминеральный конгломерат, основу которого составляет железистая фаза, в то время как фосфатная и карбонатная фазы играют вспомогательную роль.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гольдберг В.М. Взаимосвязь загрязнения подземных вод и природной среды. Ленинград: Гидрометеиздат, 1987. 247 с.
2. Мальцева Г.Н. Коррозия и защита оборудования от коррозии. Пенза: Пензенский государственный университет, 2000. 211 с.
3. Кармалов А.И., Филимонова С.В. Анализ причин кольматации и коррозии оборудования водозаборных скважин в условиях повышенной техногенной нагрузки // Водоснабжение и санитарная техника. 2011. № 9-1. С. 16–20. EDN: OEZKCJ.
4. Наливайко Н.Г. Микробиология воды. Томск: Томский политехнический университет, 2011. 138 с.
5. Покровский Д.С. Качество природных питьевых вод и технологии водоподготовки в условиях юга Сибирского региона. Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2006. 97 с.
6. Покровский Д.С., Дутова Е.М., Балобаненко А.А., Покровский В.Д., Рехтин А.Ф. Гидрогеоэкологические условия водоснабжения населения юга Сибирского региона // Вестник Томского государственного университета. 2014. № 384. С. 189–197. EDN: SIPACL.
7. Рогов Г.М., Покровский Д.С., Дутова Е.М. Некоторые проблемы водоподготовки на водозаборах из подземных источников // Известия высших учебных заведений. Строительство. 1993. № 9. С. 98–102. EDN: TAZGEP.
8. Корценштейн В.Н. Растворенные газы подземной гидросферы. М.: Недра, 1984. 230 с.
9. Кармалов А.И., Филимонова С.В. Применение полимерных фильтров «Экотон» при восстановлении и бурении скважин на воду // Водоснабжение и санитарная техника. 2005. № 9. С. 10–14. EDN: HSDNRL.
10. Кармалов А.И., Филимонова С.В. Анализ причин кольматации и коррозии оборудования водозаборных скважин в условиях повышенной техногенной нагрузки // Водоснабжение и санитарная техника. 2011. № 9-1. С. 16–20. EDN: OEZKCJ.
11. Сиволов Г.Е., Кармалов А.И., Медриш Г.Л., Писков М.В., Панчук С.А., Зорин А.П. Опыт эксплуатации и совершенствование системы обеззараживания воды с использованием гипохлорита натрия // Водоснабжение и санитарная техника. 2011. № 9-1. С. 28–32. EDN: OEZKDN.
12. Сколубович Ю.Л., Кармалов А.И., Войтов Е.Л., Сколубович А.Ю. Очистка и утилизация промывных вод станций обезжелезивания // Водоснабжение и санитарная техника. 2011. № 9-1. С. 34–39. EDN: OEZKDX.
13. Мартыненко Г.Д., Найманов А.Я., Найманова А.А., Кармалов А.И. Реконструкция сооружений повторного использования промывной воды фильтров станции обезжелезивания // Водоснабжение и санитарная техника. 2020. № 10. С. 14–20. EDN: DSIQYN.

REFERENCES

1. Gol'dberg V.M. *The Relationship Between Groundwater Pollution and The Natural Environment*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1987. 247 p. (In Russ).
2. Mal'tseva G.N. *Corrosion and Protection of Equipment from Corrosion*. Penza: Penza State University, 2000. 211 p. (In Russ).
3. Karmalov A.I., Filimonova S.V. Analysis of Causes of Colmatage and Corrosion of Water-Intake Well Equipment Under Conditions of Increased Anthropogenic Load. *Water Supply and Sanitary Technique*. 2011;9-1:16-20. (In Russ). EDN: OEZKCJ.
4. Nalivaiko N.G. *Microbiology of Water*. Tomsk: Tomsk Polytechnic University, 2011. 138 p. (In Russ).
5. Pokrovskii D.S. *Quality of Natural Drinking Water and Water Treatment Technologies in The Conditions of the South of the Siberian Region*. Tomsk: Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, 2006. 97 p. (In Russ).
6. Pokrovsky D.S., Dutova E.M., Balobanenko A.A., Pokrovsky V.D., Rekhtin A.F. Hydrogeoecological Condition of the Water Supply of the Population of the South of Siberia. *Tomsk State University Journal*. 2014;384:189-197. (In Russ). EDN: SIPACL.

7. Rogov G.M., Pokrovskii D.S., Dutova E.M. Some Problems of Water Treatment at Water Intakes from Underground Sources. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 1993;9:98-102. (In Russ). EDN: TAZGEP.
8. Kortsenshtein V.N. *Dissolved Gases of the Underground Hydrosphere*. Moscow: Nedra, 1984. 230 p. (In Russ).
9. Karmalov A.I., Filimonova S.V. The Use of Polymer Filters Ecoton in The Course of Restoration and Drilling of Wells for Water. *Water Supply and Sanitary Technique*. 2005;9:10-14. (In Russ). EDN: HSDNRL.
10. Karmalov A.I., Filimonova S.V. Analysis of Causes of Colmatage and Corrosion of Water-Intake Well Equipment Under Conditions of Increased Anthropogenic Load. *Water Supply and Sanitary Technique*. 2011;9-1:16-20. (In Russ). EDN: OEZKCJ.
11. Sivolov G.E., Karmalov A.I., Medrish G.L., Piskov M.V., Panchuk S.A., Zorin A.P. Experience in Operation and Enhancement of Water Disinfection System with The Use of Sodium Hypochlorite. *Water Supply and Sanitary Technique*. 2011;9-1:28-32. (In Russ). EDN: OEZKDN.
12. Skolubovich Yu.L., Karmalov A.I., Voytov E.L., Skolubovich A.Yu. Treatment and Utilization of Wash Water of High-Rate Filters of Deferrization Stations. *Water Supply and Sanitary Technique*. 2011;9-1:34-39. (In Russ). EDN: OEZKDX.
13. Martynenko G.D., Naimanov A.Ya., Naimanova A.A., Karmalov A.I. Reconstruction of The Facilities for Reusing Wash Water from De-Ironing Plant Filters. *Water Supply and Sanitary Technique*. 2020;10:14-20. (In Russ). EDN: DSIQYN.

Информация об авторах

Information about the authors

Кармалов Александр Иванович,
аспирант,
Новосибирский государственный
архитектурно-строительный университет
(Сибстрин),
630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113,
Россия,
заместитель директора,
ООО «Томскводоканал»,
634021, г. Томск, ул. Елизаровых, 79/2, Россия,
e-mail: karmalov@vodokanal.tomsk.ru
<https://orcid.org/0009-0006-3239-5926>
Author ID: 891094

Alexander I. Karmalov,
Postgraduate Student,
Novosibirsk State University of Architecture
and Civil Engineering (Sibstrin),
113 Leningradskaya St., Novosibirsk 630008,
Russia,
Deputy Director
of LLC TomskVodokanal,
79/2 Elizarovyh St., Tomsk 634021,
Russia,
e-mail: karmalov@vodokanal.tomsk.ru
<https://orcid.org/0009-0006-3239-5926>
Author ID: 891094

Сколубович Юрий Леонидович,
д.т.н., профессор, член.-корр. РААСН,
ректор,
Новосибирский государственный
архитектурно-строительный университет
(Сибстрин),
630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113,
Россия,
e-mail: rector@sibstrin.ru
Author ID: 437079

Yuriy L. Skolubovich,
Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Corresponding Member of the RAACS,
Rector,
Novosibirsk State University of Architecture
and Civil Engineering (Sibstrin),
113 Leningradskaya St., Novosibirsk 630008,
Russia,
e-mail: rector@sibstrin.ru
Author ID: 437079

Чупин Роман Викторович,
д.т.н., профессор кафедры
городского строительства и хозяйства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
✉e-mail: ch-r-v@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6163-909>
Author ID: 504512

Roman V. Chupin,
Dr. Sci. (Eng.),
Professor of the Department of Urban
Construction and Economy,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
✉e-mail: ch-r-v@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6163-909>
Author ID: 504512

Мелехов Евгений Сергеевич,

к.т.н., доцент, доцент кафедры
городского строительства и хозяйства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: melechov@ex.istu.edu
<https://orcid.org/0009-0006-5307-7388>
Author ID: 381662

Evgeny S. Melekhov,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Urban Construction and Management,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: melechov@ex.istu.edu
<https://orcid.org/0009-0006-5307-7388>
Author ID: 381662

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 29.08.2024.
Одобрена после рецензирования 18.09.2024.
Принята к публикации 19.09.2024.

Information about the article

The article was submitted 29.08.2024.
Approved after reviewing 18.09.2024.
Accepted for publication 19.09.2024.



Контроль деформаций металлических конструкций в строительстве: методы и технологии

Н.А. Краснояров^{1✉}, Т.Л. Дмитриева², В.И. Соболев³

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

Аннотация. В статье представлен алгоритм управления деформациями опор металлических конструкций, возникающими в результате силовых и температурных воздействий. Было исследовано их влияние на напряженно-деформированное состояние конструкции в целом. Была представлена методика, в основу которой был положен численный эксперимент, который включает создание информационной модели конструкции, интеграцию в нее данных о температурных и силовых воздействиях, конечно-элементный анализ. На основе этих данных формируются корректирующие меры управления перемещениями с использованием демпфирующих устройств. Результаты исследований выявляют влияние температурных нагрузок на деформации конструкций и предлагают методы их контроля. Предложенный метод управления деформациями с использованием BIM и активных систем управления перемещениями позволяет повысить надежность и долговечность конструкций. Интеграция современных технологий, таких как активные демпферы и адаптивные конструкции, является перспективной для управления деформациями в реальном времени. Отмечается, что успешное применение подобных технологий требует тщательного тестирования, что позволит адаптировать их к конкретным условиям и требованиям проекта.

Ключевые слова: деформации, металлические конструкции, температурные воздействия, информационное моделирование, температурные деформации, демпфирующие устройства

Для цитирования: Краснояров Н.А., Дмитриева Т.Л., Соболев В.И. Контроль деформаций металлических конструкций в строительстве: методы и технологии // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 4. С. 746–752. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-4-746-752>. EDN: CNAZUV.

Original article

Control of deformations in metal structures in construction: methods and technologies

Nikita A. Krasnoyarov^{1✉}, Tatiana L. Dmitrieva², Vladimir I. Sobolev³

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

Abstract. The paper presents an algorithm to control deformations of metal structure supports caused by force and temperature effects. The study involved investigating the influence of these factors on the overall stress-strain state of the structure. A proposed methodology is based on numerical experiments, which include the creation of an information model of the structure, integration of data on temperature and force effects into it, and finite element analysis. Based on this data, corrective measures are introduced to control displacements using damping devices. The study reveals the effect of temperature loads on deformations of structures and proposes methods for their control. The suggested method using building information modeling and active displacement control systems enhances the reliability and durability of structures. The integration of modern technologies, including active dampers and adaptive structures, shows high potential for real-time deformation control. The successful application of such technologies requires thorough testing in order to further adapt them to specific conditions and project requirements.

Keywords: deformations, metal structures, temperature effects, information modeling, temperature deformations, damping devices

For citation: Krasnoyarov N.A., Dmitrieva T.L., Sobolev V.I. Control of deformations in metal structures in construction: methods and technologies. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(4):746-752. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-4-746-752>. EDN: CNAZUV.

ВВЕДЕНИЕ

Учет влияния деформаций металлических конструкций строительных объектов является одной из ключевых задач для обеспечения безопасности и долговечности сооружений в условиях изменения нагрузок и температурных воздействий. Современные средства информационного моделирования позволяют разработать эффективные методы и алгоритмы по снижению влияния деформаций на несущую способность конструкций, а также внедрить системы активного управления перемещениями. Таким образом, возникают новые возможности для оптимизации процессов мониторинга и разработки алгоритмов коррекции деформаций. На основе BIM-технологии создается цифровая 3D-модель конструкций. Аналитические и численные методы расчета деформаций, такие как метод конечных элементов (МКЭ), широко используются для прогнозирования поведения конструкций. Следовательно, появилась возможность интегрировать данные о нагрузках и воздействиях в единую информационную модель, что позволяет более точно прогнозировать и управлять деформациями. Стоит отметить, что данные методики остаются недостаточно разработанными, поэтому возможно создание новых технологий. Основываясь на проведенных исследованиях по определению законов деформации металлических опор в зависимости от внешней температуры, предлагается интегрировать в модель строительной конструкции систему активного управления перемещениями [5].

МЕТОДЫ

В основе предложенной методики лежит использование экспериментальных данных, полученных при исследовании деформаций металлических опор под воздействием различных силовых нагрузок и температур. Численный эксперимент проводился с использованием МКЭ в программном комплексе ЛИРА 10.12, где входные данные включали температурные градиенты, геометрические характеристики опоры и физико-механические свойства материала. В результате обработки и анализа полученных данных была выявлена линейная зависимость деформирования от

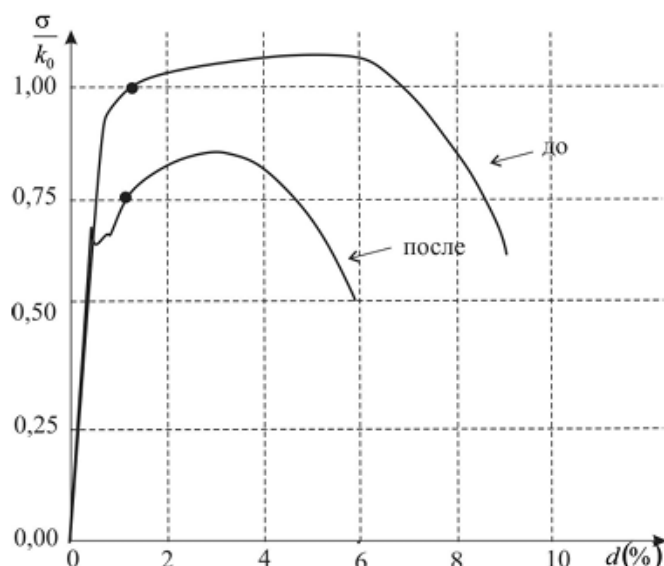
геометрических характеристик сооружения и внешних факторов, обуславливающих нагружение конструкции. Были исследованы и классифицированы существующие способы демпфирования перемещений различных конструкций, оборудования и механизмов. Определены возможные пути их использования.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Основываясь на результатах исследований [2–4], можно сделать вывод, что значение температурных нагрузок в конструкциях чревато преждевременным выходом их из строя. Основными причинами отказов трубопроводов различного сечения являются ползучесть металла деталей конструкции при длительном воздействии повышенных температур при эксплуатации, образование различных отложений на внутренней поверхности труб, наличие дефектов изготовления различного характера и развитие коррозии [3]. Выполняя анализ температурных деформаций применительно к марке стали, используемой в строительных конструкциях промышленных сооружений, можно сделать вывод, что после теплового воздействия неизбежно нарушается кристаллическая решетка и формируются остаточные деформации, а также отмечается снижение величины предела текучести и прочности образцов после теплового воздействия, что изображено на рисунке [1, 4]. Существует несколько видов температурных воздействий, обусловленных характером передачи тепла и их источников. Трубопроводы и оборудование могут быть источниками теплопередачи, возникающей за счет контакта поверхностей, обусловленной теплопроводностью материалов, конвективной передачи тепла, теплового излучения (лучистое тепло). Конструкции сооружений также могут нагреваться за счет солнечной радиации [6].

В данной работе было выполнено моделирование опор, расположенных под высокотемпературными газоходами. Для КЭ-моделирования был использован ПК ЛИРА 10.12.

В качестве воздействия рассмотрен случай конвективной теплопередачи температурной нагрузки, обеспечивающий равномерный нагрев (рисунок).



Диафрагма деформирования до и после теплового воздействия
Diaphragm deformation before and after thermal exposure

Исследовано два варианта опор – жесткая пространственная и плоская подвижная. Обе опоры моделировались конечными элементами (КЭ) типа 44 (пластинчатый КЭ тонкой оболочки).

Задача решалась в линейной постановке.

Для исследования зависимости было выделено несколько факторов, которые могут оказывать влияния на конечные деформации опор:

1. Температура материала опор. Воздействия оказывались в интервале 5–150 °С с шагом 5 градусов.

2. Высота опоры (менялась в интервале 4–6 м с шагом 1000 мм).

3. Площадь нагреваемой поверхности. Габарит сечений элементов изменялся по суще-

ствующему сортаменту на одну позицию, без изменения толщины стенок сечений.

На основании полученных данных был произведен множественный регрессионный анализ для плоской и пространственной опоры, представленный в табл. 1. В таблице представлен анализ зависимостей горизонтальных перемещений верхней точки конструкции (узел опирания трубопроводов или других конструкций) от температуры, высоты конструкции и площади нагрева.

На основании Р-значений можно сделать вывод, что влияние на величину перемещений оказывает только температура конструкции и площадь нагреваемой поверхности. Высотой конструкции возможно пренебречь в виду ее малого влияния.

Таблица 1. Результаты регрессионного анализа
Table 1. Regression analysis results

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-значение	Нижние 95 %	Верхние 95 %	Нижние 95,0 %	Верхние 95,0 %
У-пересечение	0,01045	0,02221	0,47066	0,63816	-0,0332	0,05415	-0,0332	0,05415
Температура	0,00931	—	117,161	0	0,00915	0,00947	0,00915	0,00947
Высота	-0,0492	0,00818	-6,0229	0	-0,0653	-0,0331	-0,0653	-0,0331
Площадь нагрева	0,01728	0,00238	7,25660	0	0,01260	0,02197	0,01260	0,02197

На основании данных регрессионного анализа был получен линейный закон деформирования конструкции в зависимости от температуры ее материала, который затем был применен для прогнозирования перемещений конструкций с ранее смоделированными опорами, но на других диапазонах: для температур 50–250 °С, для высот в интервале 5–8 м, габариты сечений остались неизменными. Анализируя полученные результаты, а именно

влияние полного набора контролируемых величин и наиболее статистически важных, представленных в табл. 2, можно сделать вывод, что для контроля перемещений пространственных опор от конвективной теплопередачи необходимо учитывать только конечную высоту опоры и температуру материала конструкции, которые возможно контролировать, вести их наблюдение, запись и обработку в режиме реального времени.

Таблица 2. Анализ данных
Table. 2. Data analysis

	D3	D6
Среднее	0,084769	0,017081
Стандартная ошибка	0,001002	0,000662
Медиана	0,081244	0,013424
Мода	–	0,021448
Стандартное отклонение	0,019005	0,012553
Дисперсия выборки	0,000361	0,000158
Эксцесс	-0,34972	1,290308
Асимметричность	0,148304	1,432233
Интервал	0,094425	0,053309
Минимум	0,028228	1,98E-05
Максимум	0,122653	0,053328
Сумма	30,517	6,149207
Счет	360	360

Основываясь на ранее полученных зависимостях, предлагается метод управления деформациями опор от температурных воздействий путем использования BIM для интеграции внешних воздействий и результатах численных расчетов.

Основные этапы метода включают:

1. Создание информационной модели конструкции в среде BIM.
2. Интеграцию данных о температурных воздействиях с использованием специализированных плагинов или скриптов стандартными средствами BIM.
3. Расчет конструкций программами конечно-элементного моделирования.
4. Анализ и прогнозирование деформаций с учетом ранее полученных линейных зависимостей.
5. Внедрение корректирующих мер на основе результатов моделирования за счет использования активных систем изоляции или демпфирования.

Остановимся подробнее на каждом этапе.

Разработка информационной модели

На первом этапе создается информационная 3D-модель металлических опор с использованием BIM-технологии. Она включает в себя все необходимые параметры конструк-

ций: ее геометрию, данные о материалах, условиях эксплуатации и другие характеристики.

Интеграция систем активного управления перемещениями

Система активного управления перемещениями интегрируется в информационную модель. Это позволяет отслеживать состояние опор и автоматически корректировать их положение в реальном времени, предотвращая критические деформации. Важным элементом системы является блок анализа данных, который может использовать алгоритмы машинного обучения для прогнозирования возможных деформаций и принятие решений по их устранению, либо использовать ранее накопленную статистическую информацию.

Корректировка положения конструкции в пространстве

Для нивелирования перемещений конструкций планируется использовать ранее разработанные механизмы, такие как демпферы, компенсаторы и системы активного управления.

Они могут быть интегрированы в информационную модель, а также ими можно управлять в реальном времени на основе данных, полученных экспериментально, или

на основе информации, поступающей от датчиков.

Для корректировки перемещений конструкции можно использовать системы активного управления, они обеспечивают контроль над деформациями и перемещениями конструкций, повышая их надежность и долговечность. К таким системам возможно отнести следующие [7–12]:

1. Активные демпферы используются для снижения вибраций и перемещений в конструкциях, таких как здания, мосты и промышленные установки. Они функционируют с помощью активных сил, противоположных направлению нежелательных вибраций, используя датчики для обнаружения движения и сервоприводы для противодействия ему. Магнитореологические демпферы используют магнитореологическую жидкость, вязкость которой изменяется под действием магнитного поля. Электрогидравлические демпферы связаны с гидравлическими системами, управляемыми электронными контроллерами для активного демпфирования.

2. Адаптивные конструкции включают в себя встроенные датчики и приводы, которые могут изменять свои свойства в ответ на внешние воздействия. Они используются в авиакосмической технике, гражданском строительстве и автомобильной промышленности. Пьезоэлектрические системы, которые используют пьезоэлектрические материалы, изменяют форму при приложении электрического поля для активного контроля вибраций и деформаций. Шунтирующие демпферы применяют электронные цепи для шунтирования энергии из вибрирующих элементов конструкций.

3. Системы активного управления нагрузками используются для изменения распределения нагрузок на конструкцию в реальном времени, что позволяет снижать концентрацию напряжений и управлять деформациями. Активные распорные системы применяются для изменений жесткости и распределения нагрузок в мостовых конструкциях и высотных зданиях. Для интеллектуальных болтовых соединений используют электронное управление, чтобы регулировать усилия в болтах и других крепежных элементах.

4. Активные подвесные системы используются в автомобильной и железнодорожной технике для управления динамическими перемещениями и улучшения комфорта и безопасности. Электронно-управляемые амортизаторы регулируют характеристики амортизаторов в зависимости от дорожных условий и динамики движения. Активные подвесные системы с электромагнитным приводом обеспечивают более точное и быстрое управление перемещениями.

5. Компенсаторы перемещений предназначены для компенсации температурных деформаций и других медленных перемещений, вызванных внешними воздействиями. Компенсаторы на основе сплавов используют материалы, которые восстанавливают свою форму при изменении температуры.

Активные термокомпенсаторы управляют перемещениями посредством изменения температурного режима на определенных участках конструкции. Выбор той или иной системы зависит от типа опоры, внешних температурных воздействий, величины нагрузки на опору от трубопроводов или других конструкций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный алгоритм управления деформациями металлических опор с использованием средств информационного моделирования и систем активного управления перемещениями предполагает высокую эффективность и перспективность для применения в строительной отрасли, т. к. позволяет значительно повысить надежность и долговечность конструкций. Современные решения, такие как активные демпферы, адаптивные конструкции и системы активного управления перемещениями предлагают широкий спектр возможностей для управления деформациями в реальном времени. Интеграция этих систем с BIM-технологиями может стать мощным инструментом для проектировщиков и инженеров, обеспечивая высокую точность и эффективность управления деформациями. Для успешного применения данных технологий важно проводить тщательное моделирование и экспериментальное тестирование, что позволит адаптировать системы к конкретным условиям эксплуатации и требованиям проекта.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Сидоров Г.И. Об определении температурных напряжений в подкрепленных пластинах методом конечных элементов // Ученые записки ЦАГИ. 1975. Т. 6. № 6. С. 74–81. EDN: MVCLJJ.
2. Иванов В.П., Кульбей А.Г., Бондарев А.С. Оценка и использование остаточного ресурса оборудования нефтехимического комплекса // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. 2022. № 10. С. 92–97. EDN: ZDOKHM.

3. Кушнаренко В.М., Чирков Ю.А., Клещарева Г.А., Решетов С.Ю., Клещарева А.В. Причины преждевременного разрушения теплообменных труб энергетического оборудования // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 1. С. 75–84. EDN: QOGFKJ.
4. Абышова Р.М. Зависимость напряжения и устойчивости трубопровода от воздействия температуры // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводного сырья. 2018. № 1. С. 42–45. EDN: XWBWUX.
5. Николенко С.Д., Сазонова С.А., Акамсина Н.В. Оценка несущей способности конструкций технологических эстакад // Аспекты моделирования систем и процессов. Материалы Всеросс. науч.-практ. конф. (г. Воронеж, 27 мая 2022 г.). Воронеж, 2022. С. 220–229. https://doi.org/10.58168/AMSP2022_220-229. EDN: AMPBXU.
6. Буренин А.А., Дац Е.П., Мурашкин Е.В. Формирование поля остаточных напряжений в условиях локального теплового воздействия // Известия Российской Академии наук. Механика твердого тела. 2014. № 2. С. 124–131. EDN: SAKNEJ.
7. Кулябко В.В., Ярошенко Д.С. Нелинейное динамическое взаимодействие демпфирующих устройств с конструкциями вагонов, пути, зданий и сооружений // Вибрация машин: измерение, снижение, защита. 2012. № 3. С. 24–30. EDN: PCXTOB.
8. Закора А.Л. Гашение колебаний мостовых конструкций // Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта им. академика В. Лазаряна. 2005. № 6. С. 118–123. EDN: VWACLX.
9. Паймушин В.Н., Фирсов В.А., Шишкин В.М. Интегральный способ поверхностного демпфирования изгибных колебаний тонкостенных конструкций // Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред. Материалы XXV междунар. симпозиума имени А.Г. Горшкова (г. Вятчи, 18–22 марта 2019 г.). Вятчи, 2019. С. 210–217. EDN: NQEDQL.
10. Васильев А.С., Романов А.В., Шегельман И.Р. Поиск технических решений в отношении конструкций защитно-демпфирующих устройств контейнеров // Глобальная научная интеграция. 2012. № 6. С. 34–35. EDN: ROTLRV.
11. Белташ Т.А. Энергопоглотители сухого трения в конструкциях сейсмозащиты зданий и сооружений // Вестник гражданских инженеров. 2012. № 1 (30). С. 66–70. EDN: PANVBT.
12. Кочетов О.С. Расчет систем виброзащиты технологического оборудования // Охрана и экономика труда. 2014. № 2 (15). С. 30–36. EDN: TZHTOP.

REFERENCES

1. Sidorov G.I. On The Determination of Temperature Stresses in Reinforced Plates by The Finite Element Method. *Uchenye zapiski TsAGI*. 1975;6(6):74-81. (In Russ.). EDN: MVCLJJ.
2. Ivanov V.P., Kul'bey A.G., Bondarev A.S. Evaluation and Use of Residual Resource Equipment for A Petrochemical Complex. *Vestnik of Polotsk State University. Part B. Industry. Applied Sciences*. 2022;10:92-97. (In Russ.). EDN: ZDOKHM.
3. Kushnarenko V.M., Chirkov Yu.A., Kleshchareva G.A., Reshetov S.Yu., Kleshchareva A.V. Causes of Premature Destruction of Heat Exchange Pipes of Power Equipment. *Kazan State Power Engineering University Bulletin*. 2021;13(1):75-84. (In Russ.). EDN: QOGFKJ.
4. Abyshova R.M. The Dependence of the Voltage and Resistance of the Pipeline On the Effects of Temperature. *Transport and Storage of Oil Products and Hydrocarbons*. 2018;1:42-45. (In Russ.). EDN: XWBWUX.
5. Nikolenko S.D., Sazonova S.A., Akamsina N.V. Assessment of The Bearing Capacity of the Structures of Technological Restas. In: *Aspekty modelirovaniya sistem i protsessov. Materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Aspects of Modeling Systems and Processes. Materials of The All-Russian Scientific and Practical Conference*. 27 May 2022, Voronezh. Voronezh; 2022. p. 220–229. (In Russ.). https://doi.org/10.58168/AMSP2022_220-229. EDN: AMPBXU.
6. Burenin A.A., Dats E.P., Murashkin E.V. Formation of The Residual Stress Field Under Local Thermal Actions. *Mechanics of Solids*. 2014;2:124-131. (In Russ.). EDN: SAKNEJ.
7. Kulyabko V.V., Yaroshenko D.S. Nonlinear Dynamic Interaction of Damping Devices with Railcars, Railways, Buildings and Constructions. *Vibratsiya mashin: izmerenie, snizhenie, zashchita*. 2012;3:24-30. (In Russ.). EDN: PCXTOB.
8. Zakora O.L. The Damping of Bridge Structures. *Vestnik Dnepropetrovskogo natsional'nogo universiteta zheleznodorozhnogo transporta im. akademika V. Lazaryana*. 2005;6:118-123. (In Russ.). EDN: VWACLX.
9. Paimushin V.N., Firsov V.A., Shishkin V.M. Integral Method of Surface Damping of Flexural Vibrations of Thin-Walled Structures. In: *Dinamicheskie i tekhnologicheskie problemy mekhaniki konstruktssii i sploshnykh sred. Materialy XXV mezhdunarodnogo simpoziuma imeni A.G. Gorshkova = Dynamic and Technological Problems of Mechanics of Structures and Continuous Media. Proceedings of The XXV International Symposium Named After A.G. Gorshkova*. 18–22 March 2019, Vyatichi. Vyatichi; 2019. p. 210–217. (In Russ.). EDN: NQEDQL.

10. Vasil'ev A.S., Romanov A.V., Shegel'man I.R. Search for Technical Solutions Regarding the Designs of Protective and Damping Devices for Containers. *Global'naya nauchnaya integratsiya*. 2012;6:34-35. (In Russ.). EDN: ROTLRV.
11. Belash T.A. Power Absorbers of Dry Friction in Seismic Protection Designs of Buildings and Constructions. *Bulletin of Civil Engineers*. 2012;1(30):66-70. (In Russ.). EDN: PANVBT.
12. Kochetov O.S. Calculation of System of Vibroprotection of Processing Equipment. *Okhrana i ekonomika truda*. 2014;2(15):30-36. (In Russ.). EDN: TZHTOP.

Информация об авторах

Краснояров Никита Алексеевич,
аспирант,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
✉e-mail: nik.kras.home@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0005-1070-8154>

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

Соболев Владимир Иванович,
д.т.н., профессор,
профессор кафедры механики
и сопротивления материалов,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
e-mail: vladsobol@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0916-1604>
Author ID: 4041

Information about the authors

Nikita A. Krasnoyarov,
Postgraduate Student,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,
Russia,
✉e-mail: nik.kras.home@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0005-1070-8154>

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

Vladimir I. Sobolev,
Dr. Sci (Eng.), Professor, Professor
of the Department of Mechanics
and Resistance of Materials,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,
Russia,
e-mail: vladsobol@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0916-1604>
Author ID: 4041

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 07.08.2024.
Одобрена после рецензирования 27.08.2024.
Принята к публикации 29.08.2024.

Information about the article

The article was submitted 07.08.2024.
Approved after reviewing 27.08.2024.
Accepted for publication 29.08.2024.



Применение каркасной загрузки для формирования иммобилизованного биоценоза в аэротенке

В.Н. Кульков¹, Е.Ю. Солопанов²✉

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

Аннотация. Интенсификация очистки сточных вод с применением нейтральных искусственных материалов для создания на них фиксированного биоценоза, перспективное направление повышения окислительной мощности биологических сооружений с использованием нескольких биоценозов. В работе изучена кинетика концентрации свободно плавающего ила при его седиментации на каркасную загрузку – носитель адсорбированного ила. Эксперимент проведен на физической модели биореактора, представляющей собой плоскостной поперечный вертикальный разрез промышленного аэротенка-биореактора. Показана хорошая динамика формирования иммобилизованного ила на каркасной загрузке, проходящая по экспоненциальной зависимости. Отмечено неравномерное распределение адсорбированного ила по объему загрузки, что вызвано гидродинамическими потоками в поперечном сечении аэрируемого сооружения при боковом расположении мелкопузырчатого аэратора. Найдено, что эффективность воздушной среднепузырчатой регенерации иммобилизованного на каркасной загрузке ила равна ~96 %. Кинетика биохимического потребления кислорода в аэробных условиях проходит через четыре фазы: отсутствие изменений при адаптации ила; экспоненциальное уменьшение; замедление скорости уменьшения биохимического потребления кислорода и самоокисление ила при эндогенном дыхании при постоянной минимальной величине биохимического потребления кислорода. Получена зависимость динамики скорости очистки стоков по выделенным фазам изменения биохимического потребления кислорода. Зависимость имеет экстремальный характер с максимумом в зоне, соответствующей активности плавающего и сформированного на каркасной загрузке ила.

Ключевые слова: свободно плавающий ил, иммобилизованный ил, каркасная загрузка, динамика биохимического потребления кислорода, скорость очистки стоков, воздушная регенерация загрузки

Для цитирования: Кульков В.Н., Солопанов Е.Ю. Применение каркасной загрузки для формирования иммобилизованного биоценоза в аэротенке // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 4. С. 753–763. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-4-753-763>. EDN: KIIBLF.

Original article

Application of frame loading for forming immobilized biocenosis in aeration tanks

Victor N. Kulkov¹, Evgenii Yu. Solopanov²✉

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

Abstract. Intensification of wastewater treatment through the use of neutral artificial materials to create a fixed biocenosis represents a promising direction for enhancing the oxidation capacity of biological facilities utilizing multiple biocenoses. The study examines the kinetics of free-floating sludge concentration during its sedimentation on frame loading, which serves as a carrier for adsorbed sludge. The experiment was carried out in a bioreactor physical model presenting a planar transverse vertical section of an industrial bioreactor aeration tank. The study revealed a good dynamics in the formation of immobilized sludge on the frame loading, following exponential dependence. Uneven distribution of adsorbed sludge by loading volume is attributed to hydrodynamic flows in the cross-section of the aerated

facility with a laterally positioned fine-bubble aerator. The efficiency of air medium-bubble regeneration of sludge immobilized on the frame loading was found to account for approximately 96%. The kinetics of biochemical oxygen consumption under aerobic conditions passes through four phases: no changes in sludge adaptation; exponential decrease; deceleration in the rate of biochemical oxygen consumption decrease and self-oxidation of sludge under endogenous respiration at constant minimum value of biochemical oxygen consumption. The results show a dependence of the dynamics of the wastewater treatment rate on the selected phases of change in biochemical oxygen consumption. The dependence exhibits an extreme character with a maximum in the zone corresponding to the activity of floating sludge and sludge formed on the frame loading.

Keywords: free-floating sludge, immobilized sludge, frame loading, dynamics of biochemical oxygen consumption, wastewater treatment rate, air loading regeneration

For citation: Kulkov V.N., Solopanov E.Yu. Application of frame loading for forming immobilized biocenosis in aeration tanks. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(4):753-763. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-4-753-763>. EDN: KIIBLF.

ВВЕДЕНИЕ

Повышение дозы ила в аэротенке достигается установкой в водно-иловую смесь носителей биомассы с большой поверхностью для обрастания биопленкой. Это приводит к формированию биоценоза, образованного на инертных синтетических носителях, и к существенному росту общей концентрации биоценоза в аэротенке-биореакторе. Сообщество двух биоценозов в биореакторе значительно улучшает степень очистки сточных вод. Очистка осуществляется двумя ценозами ила: ценозом активного плавающего ила, находящимся в водно-иловой смеси, и ценозом иммобилизованного ила, сформированным на инертной каркасной загрузке. Прикрепленный ил увеличивает время пребывания активного ила в биореакторе, что позволяет очищать сложноокисляемые органические загрязнения.

Биоценоз, прикрепленный к загрузке, в меньшей степени подвержен влиянию периодически поступающих угнетающими активностью ила веществами и сверхнормативному удалению биоценоза из системы биореактор–вторичный отстойник.

Прикрепленный к инертной синтетической загрузке иммобилизованный ил обеспечивает относительно равномерное его распределение по объему биореактора, что способствует наличию фиксированной кинетике окисления загрязняющих веществ [1–7].

Увеличение общей концентрации активного ила в биореакторе снижает нагрузку на ил и подавляет бактериальное его вспухание [3].

С использованием каркасных инертных блоков адсорбция формирующегося на них биоценоза значительно повышает и стабилизирует окислительную мощность аэрируемого сооружения. Эта технология способствует

уменьшению количества секций биореактора при сохранении качества очистки сточных вод [8, 9]. Каркасные носители иммобилизованного биоценоза обеспечивают его надежное увеличение в аэротенке-биореакторе до 8–10 г/дм³, с исключением его избыточного выноса из вторичных отстойников.

Одними из распространенных технологий наращивания иммобилизованного ценоза для надежной очистки сточных вод от биологического загрязнения являются каркасные блоки, размещенные в аэротенке (рис. 1).

Материал блоков биологической загрузки (ББЗ) – композит полимерный на основе ПНД 273. Способ их установки в сооружения биологической очистки, необходимое количество и зона установки определяются индивидуально.

Каркасные синтетические блоки с адсорбированным биоценозом требуют их систематической регенерационной очистки от крупных взвешенных примесей и застаревшей желеобразной массы с иммобилизованным сообществом микроорганизмов [3, 10].

Жесткость конструкции блоков обеспечивается торцевым поверхностным сварочным швом, создающим надежное крепление сетчатых трубок, формирующих блок.

Форма каркасного блока позволяет достигать равномерного распределения водовоздушного потока при его регенерационной аэрации. ББЗ просты в монтаже и демонтаже, что значительно снижает эксплуатационные расходы. Их можно использовать в целях глубокой доочистки сточных вод от биогенных элементов, включая технологию химико-биологического удаления фосфатов. Они позволяют активизировать процессы нитри- и денитрификации сточных вод [11–13].

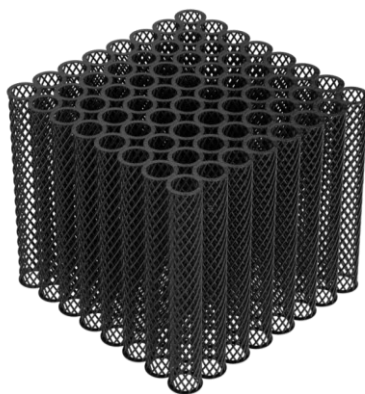


Рис. 1. Каркасный блок биологической загрузки
Fig. 1. Framework the loading

МЕТОДЫ

Лабораторная установка для изучения формирования иммобилизованного биоценоза включала модельный биореактор, выполненный из десятимиллиметрового полированного стекла. Схема установки описана в ранних работах [14–17]. Водно-иловая смесь аэрировалась мелкопузырчатым аэратором.

Блочная загрузка занимала ~30 % площади поперечного сечения лабораторного биореактора [18, 19]. Для осуществления циркуляционного движения водно-иловой смеси в поперечном сечении биореактора, блочная загрузка размещалась так, чтобы расстояние

от дна и поверхности водно-иловой смеси составляло до нее ~0,2 м.

С левой и правой сторон от каркасной загрузки существовало свободное пространство, равное 0,28 и 0,16 м соответственно (рис. 2). Оно позволяло свободно перемещаться газогидродинамическим потокам основного циркуляционного контура. Соотношение свободно плавающего и иммобилизованного ила контролировали по интенсивности потока света от лампы, проходящего через водно-иловую смесь, приготовленную из водопроводной воды и ила, взятого на действующих очистных сооружениях [14, 17].



Рис. 2. Каркасная загрузка, помещенная в модель аэротенка
(плоскостной вертикальный разрез)
Fig. 2. Wireframe loading placed in the aerotank model (planar vertical section)

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Каркасная загрузка располагалась в центре плоскостной вертикальной модели, в зоне слабых гидродинамических потоков водно-иловой смеси. Водно-иловая смесь аэрировалась мелкопузырчатым аэратором с удельной интенсивностью $5,11 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$. Концентрация плавающего ила в начале эксперимента со-

ставляла $0,38 \text{ г/дм}^3$. Абсолютная величина скорости потока в центральной области модели изменялась в интервале $5\text{--}10 \text{ см/с}$. Потоки водно-иловой смеси перемещались преимущественно по периметру модельной ячейки. В области последующего размещения каркасной загрузки реализовались низкоскоростные потоки (рис. 3).

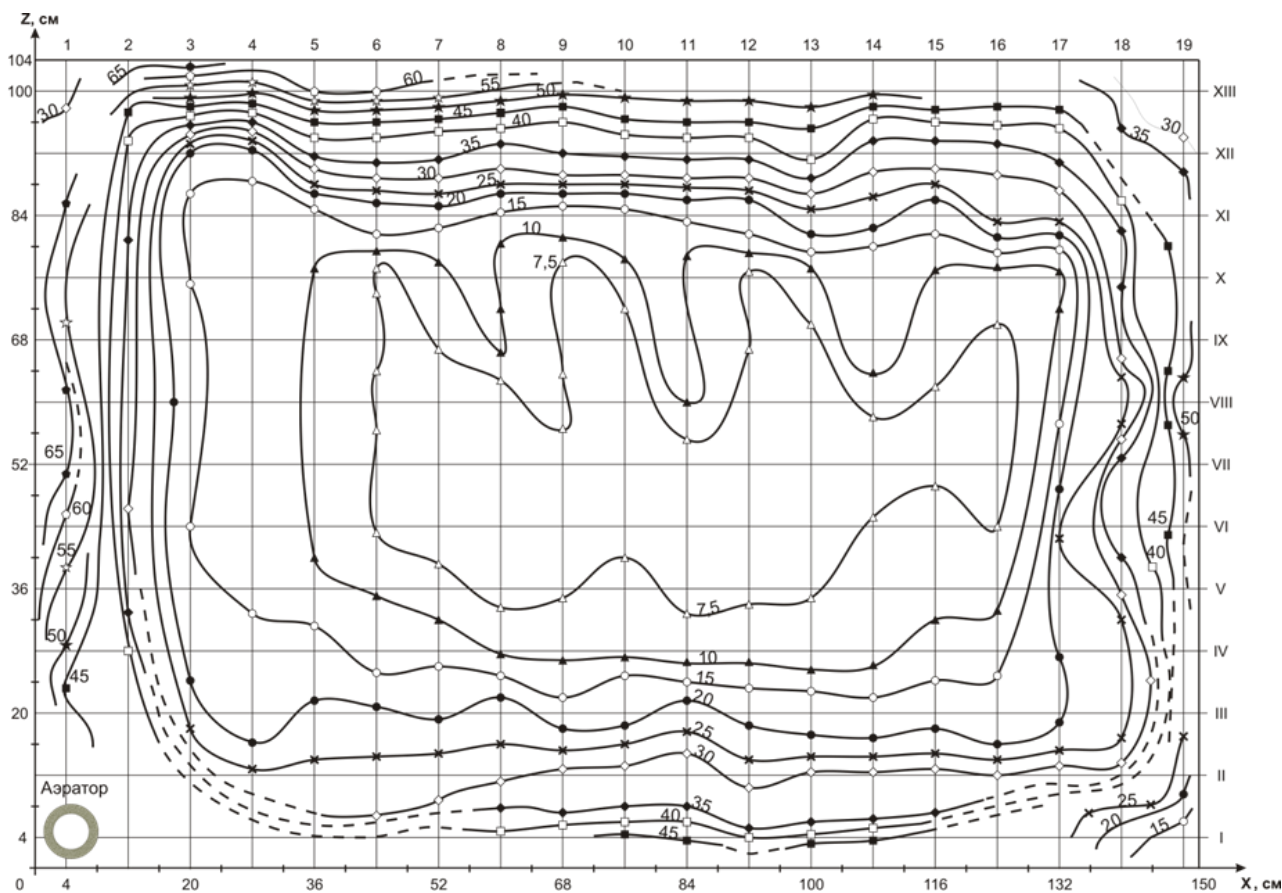


Рис. 3. Распределение скорости движения водно-иловой смеси в модели прямоугольного биореактора. Скорость течения воды (см/с): Δ – 7,5; $\blacktriangle$ – 10; $\circ$ – 15; $\bullet$ – 20; $\times$ – 25;

$\diamond$ – 30; $\blacklozenge$ – 35; $\square$ – 40; $\blacksquare$ – 45; $\star$ – 50; $\star$ – 55; $\diamond$ – 60; $\blacklozenge$ – 65

Fig. 3. Distribution of the speed of movement of the water-sludge mixture in the model of a rectangular bioreactor. Water flowrate (cm/s): Δ – 7,5; $\blacktriangle$ – 10; $\circ$ – 15; $\bullet$ – 20; $\times$ – 25;

$\diamond$ – 30; $\blacklozenge$ – 35; $\square$ – 40; $\blacksquare$ – 45; $\star$ – 50; $\star$ – 55; $\diamond$ – 60; $\blacklozenge$ – 65

На приведенном на рис. 3 распределении скорости движения жидкости, полученной для плоскостной вертикальной модели аэротенка с размерами: ширина 1,50 м, высота 1,10 м, глубина 0,05 м, явно просматривается «центральная» зона вращения исследуемой водно-иловой смеси [14]. Она находится между 0,4 и 0,6 м высоты, 0,44 и 1,24 м ширины модели. В ней наблюдаются скорости гидродинамических потоков со значениями $0,075 \text{ м/с}$ и менее. Таких величин скоростей потоков исследуемой жидкости недостаточно для того,

чтобы иммобилизованный на загрузки ил удалялся, т. е. образуется большая «застойная зона». В ней происходит постоянная коагуляция активного ила в крупные агломераты и их седиментации на каркасную загрузку. По объему каркасной загрузки иммобилизованный ил распределялся неравномерно, что определялось гидродинамическими потоками (рис. 4).

Большая концентрация иммобилизованного ила наблюдается в центральной части блока каркасной загрузки, где скорости потоков минимальны. Левая сторона каркасной загруз-

ки, кроме самой верхней части, была практически забита иммобилизованным илом. Это объясняется наличием узкого, не омываемого загрузку, газогидродинамического потока циркуляционного контура, поднимающимся от мелкопузырчатого аэратора, имеющего скорость 0,3–0,5 м/с. Правая сторона каркасной

загрузки, особенно ее правый верхний угол, была практически чистой. Это можно объяснить наличием скоростей 0,25–0,3 см/с интенсивного гидродинамического потока жидкости, поворачивающего вниз у правой стенки модели и смывающего осевший ил с каркасной загрузки.

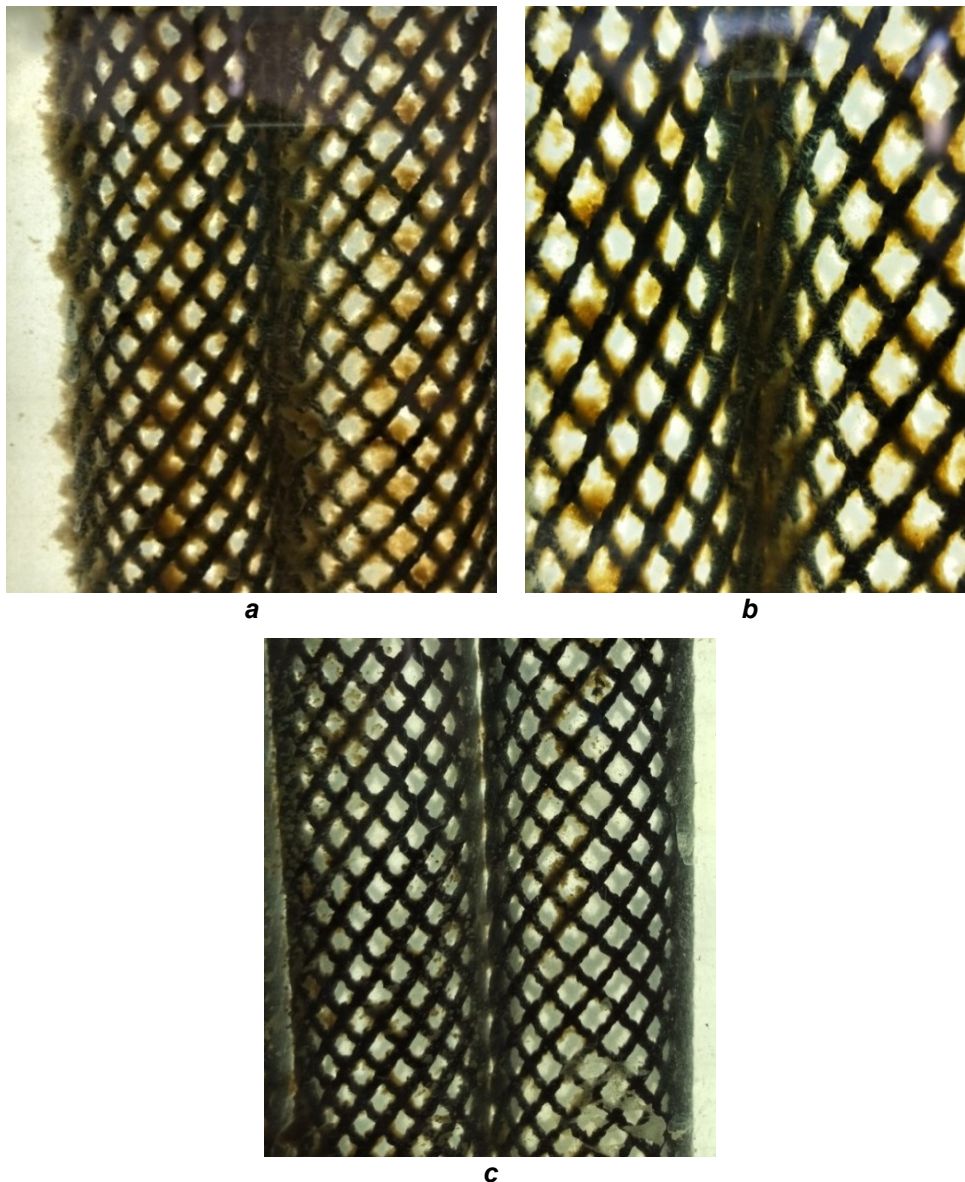


Рис. 4. Фрагменты каркасной загрузки с иммобилизованным илом: а – левая сторона загрузки (расположена на расстоянии 15 см от аэратора); б – центральной части загрузки; с – правая сторона загрузки (расположена со стороны модели без аэратора)
Fig. 4. Fragments of frame loading with immobilized sludge: a – left side of the loading (located at a distance of 15 cm from the aerator); b – the central part of the loading; c – right side of the loading (located on the side of the model without aerator)

Интенсивность светового потока, проходящего через водно-иловую смесь и измеряемая люксметром, постепенно возрастала, что свидетельствовало об уменьшении дозы плавающего ила. Кинетика седиментации плавающего ила на каркасной загрузке приведена

на рис. 5. Величину растущей концентрации ила, иммобилизованного на каркасной загрузке (рис. 6), находили вычитанием из начальной концентрации ила значения текущей концентрации свободно плавающего, определенной по рис. 5.

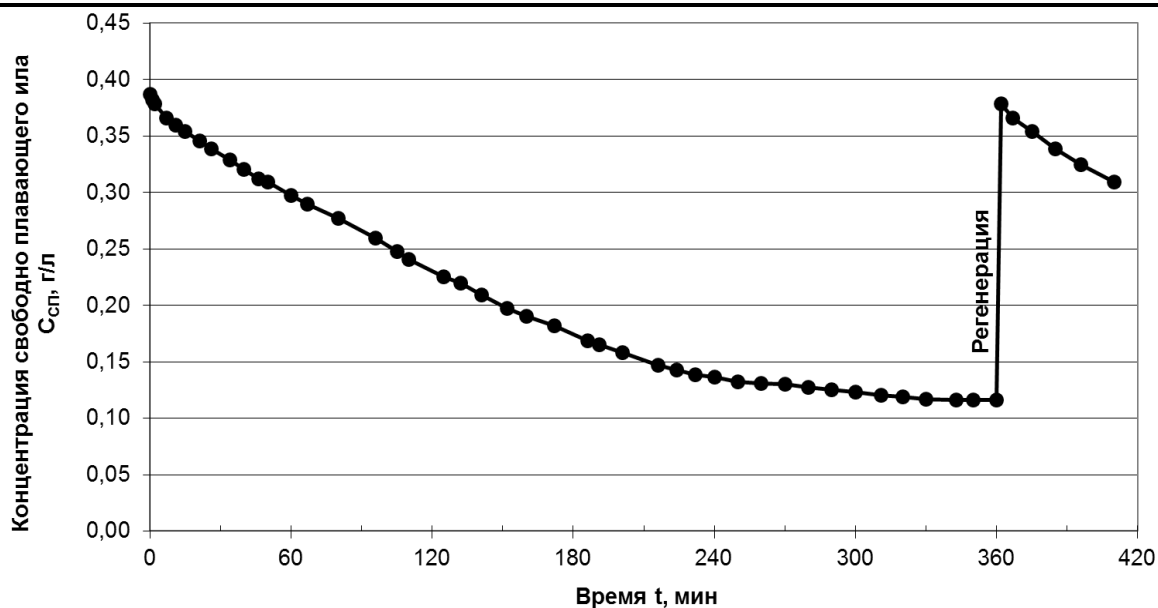


Рис. 5. Кинетика седиментации свободно плавающего ила на каркасную синтетическую загрузку
Fig. 5. Kinetics of sedimentation of free-floating sludge on a frame synthetic loading

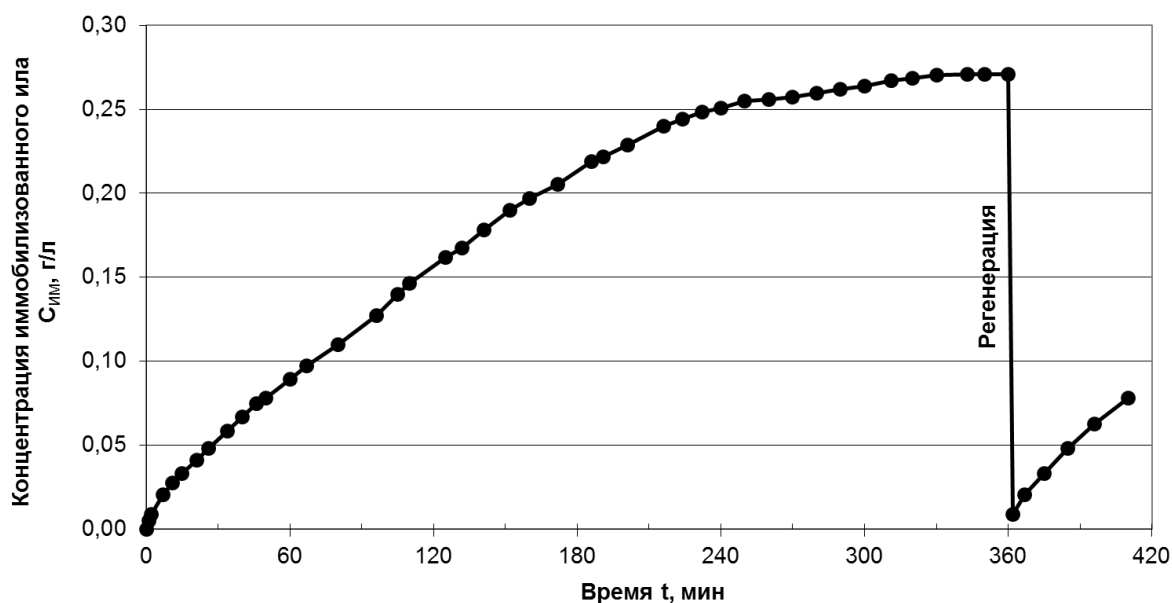


Рис. 6. Кинетическая зависимость концентрации иммобилизованного ила на каркасной загрузке и процесса его воздушной регенерации
Fig. 6. Kinetic dependence of the concentration of immobilized sludge in the frame loading and the process of its regeneration with the help of air

Необходимо отметить, что седиментация плавающего ила происходила достаточно медленно. Выход процесса седиментации в квазистационарное состояние наблюдали во всех опытах через шесть часов. Для сравнения, для ершовой загрузки это состояние достигалось приблизительно через полтора часа для идентичной интенсивности мелкопузырчатой аэрации [17]. Это различие определяется в первую очередь кинетикой формиро-

вания иммобилизованного ила, а она, в определяющей степени, зависит от удельной поверхности адсорбции загрузки, которая для ершовой загрузки равна $500 \text{ м}^2/\text{м}^3$, а для каркасной загрузки находится в интервале $50\text{--}300 \text{ м}^2/\text{м}^3$ [19, 20].

При достижении квазистационарного состояния седиментации плавающего ила на каркасной загрузке проводили воздушную регенерацию (удаление) иммобилизованного

ила. Удельная интенсивность среднепузырчатой регенерации равнялась $7,5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$. Эффективность воздушной регенерации, проведенной в течение двух минут, составила $\mathcal{E}_{\text{max}} = 96,5 \%$ (рис. 5 и 6). Высокая эффективность удаления адсорбированного ила в большой степени определялась трубчатой перфорированной конструкцией каркасной загрузки. Динамику биохимического потребления кислорода (БПК), при формировании им-

мобилизованного ила на каркасной загрузке, изучали на реальной водно-иловой смеси, привезенной с канализационных очистительных сооружений г. Шелехова. Водно-иловая смесь имела следующие характеристики: доза ила $a_i = 1,54 \text{ г/дм}^3$; взвешенные вещества (ВВ) = 88 мг/дм^3 ; БПК = 68 мг/дм^3 ; иловый индекс $J_i = 110 \text{ см}^3/\text{г}$. Полученная зависимость имеет сложный вид с явно обозначенными пятью зонами динамики БПК (рис. 7).

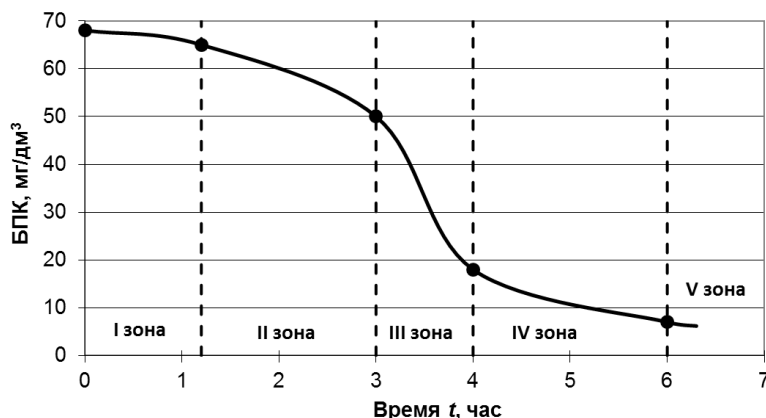


Рис. 7. Динамика биохимического потребления кислорода в аэробных условиях в модели биореактора с каркасной загрузкой
Fig. 7. Dynamics of biochemical oxygen consumption under aerobic conditions in a bioreactor model with frame loading

В начале эксперимента наблюдается зона адаптации активного плавающего ила при возобновленной аэрации водно-иловой смеси (зона I), что соответствует почти не изменяющейся величине БПК.

Экспоненциальное уменьшение величины БПК в зонах II и III объясняется наличием двух биоценозов и активным приростом ила равным $\sim 7 \text{ г}$ (при обозначенных величинах ВВ и БПК в модели биореактора, объемом 80 дм^3), что составляет $\sim 6 \%$ от начальной концентрации ила в модели.

Нагрузка на ил [2], рассчитанная по формуле (1), составила $13,6 \text{ мг/г} \cdot \text{ч}$, что соответствовало средней нагрузке.

$$q_i = \frac{L_{ea}}{a_i (1 - S) t_{at}}, \quad (1)$$

где L_{ea} – БПК_п залитой в модель водно-иловой смеси, мг/дм^3 ; a_i – доза ила, г/дм^3 ; S – зольность ила, доля единицы; t_{at} – длительность аэрации водно-иловой смеси, ч.

Средняя нагрузка на ил определяет наибольшее изъятие загрязнений из водно-иловой смеси, что и наблюдается в начале зоны IV – величина БПК уменьшилась до $\sim 8 \text{ мг/дм}^3$. В зоне V, в квазистационарных условиях седиментации плавающего ила,

осуществляется процесс самоокисления обоих видов биоценоза, при недостатке питательных веществ. БПК практически не изменялась.

Расчет и построение графика динамики скорости очистки стоков (рис. 8) в плоскостной модели биореактора, с размещенной в центральной области каркасной загрузки, осуществляли по данным, взятым с рис. 7, с учетом выделенных зон динамики БПК.

Скорость очистки стоков [2] рассчитывали по формуле (2).

$$\rho_i = \frac{L_{ea} - L_{ex}}{a_i (1 - S) t_{at}}, \quad (2)$$

где L_{ea} – БПК_п сточной воды в начале принятой зоны динамики БПК, мг/дм^3 ; L_{ex} – БПК_п в конце принятой зоны, мг/дм^3 .

Зависимость динамики скорости очистки стоков имеет экстремальный характер с четко выделенным максимумом в III зоне, соответствующей активности плавающего ила, с учетом прироста, и сформированного на каркасной загрузке иммобилизованного ила.

В IV зоне скорость очистки уменьшается с $29,7$ до $9,3 \text{ мг/г} \cdot \text{ч}$, что свидетельствует о начале процесса самоокисления ила, при очевидном недостатке питательных веществ.

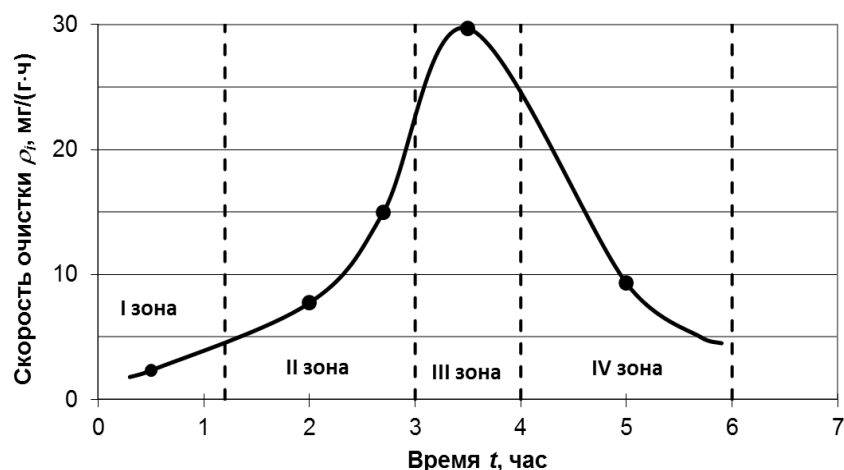


Рис. 8. Динамика скорости очистки стоков в аэробных условиях в модели биореактора с каркасной загрузкой по зонам изменения биохимического потребления кислорода
Fig. 8. The dynamics of the rate of wastewater treatment under aerobic conditions in a bioreactor model with frame loading by zones of change in biochemical oxygen consumption.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучена динамика седиментации плавающего ила на каркасной загрузке, установленной в модели аэротенка-биореактора.

Показана хорошая динамика формирования иммобилизованного ила на загрузке, размещенной в центральной зоне биореактора, которая описывается экспоненциальной зависимостью. Отмечено неравномерное распределение адсорбированного ила по объему каркасной загрузки, вызванное гидродинамическими потоками в поперечном сечении аэротенка. Показана высокая эффективность воздушной регенерации иммобилизованного

ила, составляющая ~96 %. Кинетика БПК в аэробных условиях проходит через четыре фазы: отсутствие изменений при адаптации ила; экспоненциальное уменьшение; замедление скорости уменьшения БПК и самоокисление ила при эндогенном дыхании при постоянной величине БПК.

Зависимость динамики скорости очистки стоков, по выделенным фазам изменения БПК, имеет экстремальный характер с максимумом. В финальной зоне, характеризующейся недостатком питательных веществ, скорость очистки стоков уменьшается с 29,7 до 9,3 мг/(г·ч).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ермолин Ю.А., Алексеев М.И. Промышленная очистка сточных вод как управляемый процесс // Вода и экология: проблемы и решения. 2017. № 2 (70). С. 18–27. <https://doi.org/10.23968/2305-3488.2017.20.2.18-27>. EDN: ZTSOHV.
2. Жмур Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками. М.: АКВАРОС, 2003. 507 с. EDN: QNKHHB.
3. Кирей В.А., Юхневич Г.Г. Влияние технологического режима аэротенков очистных сооружений канализации на видовой состав активного ила // Актуальные проблемы экологии: сб. науч. статей по материалам XII Междунар. науч.-практ. конф. (г. Гродно, 04–06 октября 2017 г.). Гродно, 2017. С. 208–210. EDN: XORLIT.
4. Швецов В.Н., Морозова К.М., Смирнова И.И., Семенов М.Ю., Лежнев М.Л., Рыжаков Г.Г. [и др.] Использование блоков биологической загрузки на сооружениях очистки сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2010. № 10–2. С. 25–31. EDN: MVREYB.
5. Словцов А.А. Совершенствование процессов биологической очистки сточных вод с помощью прикрепленных биоценозов // Вестник МГСУ. 2008. № 3. С. 80–85. EDN: MUXOIR.
6. Кульков В.Н., Солопанов Е.Ю. Восстановление видового состава биоценоза аэрируемых сооружений после длительного простоя // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2020. Т. 10. № 1. С. 77–83. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-1-77-83>. EDN: INF DUR.
7. Маркевич Р.М., Гребенчикова И.А., Роденко А.В., Вострова Р.Н. Особенности биоценоза активного ила, находящегося в свободном состоянии и иммобилизованного на полимерном носителе // Труды БГТУ. № 4. Химия, технология органических веществ и биотехнология. 2013. № 4 (160). С. 219–223. EDN: SOBOLV.

8. Kulkov V.N., Solopanov E.Yu. Intensification of Biological Wastewater Treatment in A Bioreactor // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 667. P. 1–9. <http://doi.org/10.1088/1757-899X/667/1/012051>.
9. Стрелков А.К., Гриднева М.А., Стрелков Д.А, Афанаскин Н.Д. Техничко-экономическое сравнение доочистки бытовых сточных вод в условиях канализационных очистных сооружений г. Бузулук // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии: сб. ст. Самара: Самарский государственный технический университет, 2018. С. 260–266. EDN: YNEUDB.
10. Litti Yu.V., Nekrasova V.K., Kulikov N.I., Siman'kova M.V., Nozhevnikova A.N. Detection of Anaerobic Processes and Microorganisms in Immobilized Activated Sludge of a Wastewater Treatment Plant with Intense // Microbiology. 2013. Vol. 82. Iss. 6. P. 690–697. <https://doi.org/10.1134/S0026261713060076>.
11. Долженко Л.А. Иммуобилизация активного ила на носителях биореактора в условиях нитрификации и денитрификации // Образование и наука в современном мире. Инновации. 2016. № 4. С. 150–158. EDN: VVTIMX.
12. Ferrera I., Sánchez O. Insights into Microbial Diversity in Wastewater Treatment Systems: How Far Have We Come? // Biotechnology Advances. 2016. Vol. 34. Iss. 5. P. 790–802. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2016.04.003>.
13. Rania Ahmed Hamza, Zhiya Sheng, Oliver Terna Iorhemen, Mohamed Sherif Zaghloul, Joo Hwa Tay Impact of Food-To-Microorganisms Ratio On the Stability of Aerobic Granular Sludge Treating High-Strength Organic Wastewater // Water Research. 2018. Vol. 147. Iss. 21. P. 287–298. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.09.061>.
14. Кульков В.Н., Солопанов Е.Ю. Гидродинамика в аэротенке с пневматической аэрацией // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2010. № 7. С. 66–74. EDN: OZIBEH.
15. Kulkov V.N. Biological Wastewater Treatment Using Regenerated Immobilized Sludge // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 219. P. 1–9. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021903002>.
16. Первых И.А., Зеленин А.М., Сосна В.М. Физическое моделирование газогидродинамической обстановки в аэротенке-вытеснителе // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2013. № 8. С. 89–93. EDN: RASWZH.
17. Кульков В.Н., Солопанов Е.Ю. Водовоздушная регенерация ершовой загрузки в аэротенке: монография. Иркутск: ИРНИТУ, 2020. 162 с.
18. Студеникина Л.Н., Дочкина Ю.Н., Шелкунова М.В., Корчагин В.И. Оценка эффективности иммуобилизации активного ила на композитных материалах «полиэтилен:полисахариды» // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2018. Т. 80. № 4. С. 356–360. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-356-360>. EDN: SUNXHV.
19. Куликов Н.И., Райманов А.Я., Омельченко Н.П., Чернышов В.Н. Теоретические основы очистки воды. Донецк: НОУЛИДЖ, 2009. 298 с.
20. Роденко А.В. Применение полимерного носителя биомассы на сооружениях биологической очистки сточных вод // Вестник Брестского государственного технического университета. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. 2016. № 2 (98). С. 77–80. EDN: VTVLYO.

REFERENCES

1. Ermolin Yu.A., Alekseev M.I. Industrial Wastewater Treatment as A Controlled Process. *Water and Ecology: Problems and Solutions*. 2017;2(70):18-27. (In Russ.). <https://doi.org/10.23968/2305-3488.2017.20.2.18-27>. EDN: ZTSOHV.
2. Zhmur N.S. *Technological and Biochemical Processes of Wastewater Treatment in Facilities with Aeration Tanks*. Moscow: AQUAROS, 2003. 507 p. (In Russ.). EDN: QNKHBB.
3. Kirej V.A., Yuhnevich G.G. The Influence of the Technological Regime of the Aerotanks of Sewage Treatment Facilities On the Species Composition of Active Sludge. In: *Aktual'nye problemy ekologii: sbornik nauchnykh statei po materialam XII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Current Problems of Ecology: A Collection of Scientific Articles Based On the Materials of the XII International Scientific and Practical Conference*. 04–06 October 2017, Grodno. Grodno; 2017. p. 208–210. (In Russ.). EDN: XORLIT.
4. Shvetsov V.N., Morozova K.M., Smirnova I.I., Semenov M.Yu., Lezhnev M.L., Ryzhakov G.G. [et al.] Use of Biological Loading Units at Wastewater Treatment Facilities. *Water Supply and Sanitary Technique*. 2010;10–2:25-31. (In Russ.). EDN: MVREYB.
5. Slovtsov A.A. Improving Biological Wastewater Treatment Processes Using Attached Biocenoses. *Monthly Journal on Construction and Architecture*. 2008;3:80-85. (In Russ.). EDN: MUXOIR.
6. Kulkov V.N., Solopanov E.Yu. Restoring Biocenotic Species Composition in Aerated Structures Following Prolonged Downtime. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2020;10(1):77-83. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-1-77-83>. EDN: INFDUR.

7. Markevich R.M., Grebenchikova I.A., Rodenko A.V., Vostrova R.N. Special Properties of Free-Floating and Immobilized Active Sludge Biotic Community. *Trudy BGTU. № 4. Khimiya, tekhnologiya organicheskikh veshchestv i biotekhnologiya*. 2013;4(160):219-223. (In Russ.). EDN: SOBOLV.
8. Kulkov V.N., Solopanov E.Yu. Intensification of Biological Wastewater Treatment in A Bioreactor. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019;667:1-9. <http://doi.org/10.1088/1757-899X/667/1/012051>.
9. Strelkov A.K., Gridneva M.A., Strelkov D.A., Afanaskin N.D. Technical and Economic Comparison of Post-Treatment of Domestic Wastewater in The Conditions of Sewage Treatment Plants in Buzuluk. In: *Traditions and Innovations in Construction and Architecture. Construction Technologies: Collection of Articles*. Samara: Samara State Technical University, 2018. p. 260–266. (In Russ.). EDN: YNEUDB.
10. Litti Yu.V., Nekrasova V.K., Kulikov N.I., Siman'kova M.V., Nozhevnikova A.N. Detection of Anaerobic Processes and Microorganisms in Immobilized Activated Sludge of a Wastewater Treatment Plant with Intense. *Microbiology*. 2013;82(6):690-697. <https://doi.org/10.1134/S0026261713060076>.
11. Dolzhenko L.A. Immobilization of The Active Sludge from Carrieres in Bioreactors Under Nitrification and Denitrification Conditions. *Obrazovanie i nauka v sovremennom mire. Innovatsii*. 2016;4:150-158. (In Russ.). EDN: VVTIMX.
12. Ferrera I., Sánchez O. Insights into Microbial Diversity in Wastewater Treatment Systems: How Far Have We Come? *Biotechnology Advances*. 2016;34(5):790-802. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2016.04.003>.
13. Rania Ahmed Hamza, Zhiya Sheng, Oliver Terna Iorhemen, Mohamed Sherif Zaghloul, Joo Hwa Tay Impact of Food-To-Microorganisms Ratio On the Stability of Aerobic Granular Sludge Treating High-Strength Organic Wastewater. *Water Research*. 2018;147(21):287-298. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.09.061>.
14. Kulkov V.N., Solopanov E.Yu. Hydrodynamics in an Aeration Tank with Pneumatic Aeration. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2010;7:66-74. (In Russ.). EDN: OZIBEH.
15. Kulkov V.N. Biological Wastewater Treatment Using Regenerated Immobilized Sludge. *E3S Web of Conferences*. 2020;219:1-9. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021903002>.
16. Pervykh I.A., Zelenin A.M., Sosna V.M. Physical Modeling of Gas Hydrodynamic Conditions in Continuous Flow Aeration Tank. *Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2013;8:89-93. (In Russ.). EDN: RASWZH.
17. Kulkov V.N., Solopanov E.Yu. *Water-Air Regeneration of Brush Loading in an Aeration Tank: Monograph*. Irkutsk: IRNITU, 2020. 162 p. (In Russ.).
18. Studenikina L.N., Dochkina J.N., Shelkunova M.V., Korchagin V.I. Evaluation of The Effectiveness of Immobilization of Activated Sludge on Composite Materials "Polyethylene:Polysaccharides". *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2018;80(4):356-360. (In Russ.). <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-356-360>. EDN: SUNXHV.
19. Kulikov N.I., Raimanov A.Ya., Omel'chenko N.P., Chernyshov V.N. *Theoretical Foundations of Water Purification*. Donetsk: NOULIDG, 2009. 298 p. (In Russ.).
20. Rodenko A.V. Use of The Polymeric Carrier of Biomass On Constructions of Biological Sewage Treatment. *Vestnik Brest State Technical University*. 2016;2(98):77-80. (In Russ.). EDN: VTVLYO.

Информация об авторах

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
<https://orcid.org/0000-0003-3838-0777>
Author ID: 730720

Солопанов Евгений Юрьевич,

к.т.н., доцент отделения прикладной
математики и информатики,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
✉e-mail: evgursolo@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4063-7252>
Author ID: 518365

Information about the authors

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
<https://orcid.org/0000-0003-3838-0777>
Author ID: 730720

Evgenii Yu. Solopanov,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor
of the Department of Applied Mathematics
and Computer Science,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
✉e-mail: evgursolo@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4063-7252>
Author ID: 518365

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 31.07.2024.
Одобрена после рецензирования 26.08.2024.
Принята к публикации 29.08.2024.

Information about the article

The article was submitted 31.07.2024.
Approved after reviewing 26.08.2024.
Accepted for publication 29.08.2024.



Планово-предупредительные работы на автомобильных дорогах

М.А. Пшидаток^{1✉}, С.И. Маций²^{1,2}Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, г. Краснодар, Россия

Аннотация. Целью данной статьи является расширение классификации работ по инженерной защите участков автомобильных дорог от опасных геологических процессов для снижения риска возникновения чрезвычайных ситуаций. Во многих регионах России наблюдаются такие опасные геологические процессы, как оползни, сели, обвалы и размывы берегов. Рассмотрены вопросы инженерной защиты автомобильных дорог, в процессе создания которых происходит формирование принципов (условий), позволяющих своевременно принять организационные и конструктивные решения на стадиях проектирования и последующей эксплуатации. Был изучен приказ Министерства транспорта Российской Федерации № 402 от 16.11.2012, где утверждена следующая классификация работ: капитальный ремонт, ремонт автомобильных дорог, работы по содержанию автомобильных дорог. Для специалистов в области дорожного строительства актуальным является не только проектирование новых средств инженерной защиты автомобильных дорог, но и поддержание надлежащего функционирования существующих. Перечень рекомендуемых мероприятий предназначен для обеспечения надежной и безотказной работы подпорных стен и позволяет проанализировать техническое состояние противооползневых сооружений, чтобы в последующем принять меры по предотвращению аварийных ситуаций. В текущей работе определена необходимость в добавлении нового вида работ – планово-предупредительных, в рамках которых возможно незначительное изменение конструкции подпорной стены для ее усиления. При их выполнении капитальный ремонт участка не требуется.

Ключевые слова: автомобильная дорога, технические решения, ремонт, подпорная стена, деформации, классификация, планово-предупредительные работы

Для цитирования: Пшидаток М.А., Маций С.И. Планово-предупредительные работы на автомобильных дорогах // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 4. С. 764–776. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-4-764-776>. EDN: RFVNUS.

Original article

Preventive maintenance on highway roads

Margarita A. Pshidatok^{1✉}, Sergey I. Matsiy²^{1,2}Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia

Abstract. Dangerous geological processes such as landslides, mudflows, rockfalls, and bank erosion are observed in many regions of Russia. This paper aims to expand the classification of works on engineering protection of highway sections from hazardous geological processes to reduce the risk of emergencies. The issues of engineering protection of highways are considered, as well as the principles (conditions) formed in the process of their construction, which provide for timely organizational and constructive decisions at the stages of design and subsequent operation. According to the Decree of the Ministry of Transport of the Russian Federation No. 402 dated November 16, 2012, the following classification of works was approved: overhaul, repair of highways, maintenance works of highways. Not only designing new means of engineering protection of highways, but also maintaining the proper functioning of existing ones is relevant for specialists in the field of road construction. A list of recommended measures is designed to ensure reliable and fail-safe operation of retaining walls as well as to analyze the technical condition of landslide protection structures for subsequent measures to

prevent emergencies. The present paper indicates a new type of work, i.e. preventive maintenance works, which may involve minor modifications to the retaining wall structure to strengthen it. When they are performed, overhaul of the site is not required.

Keywords: highway, technical solutions, repairs, retaining wall, deformations, classification, preventive maintenance

For citation: Pshidatok M.A., Matsiy S.I. Preventive maintenance on highway roads. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(4):764-776. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-4-764-776>. EDN: RFVNUS.

ВВЕДЕНИЕ

Подпорные стены являются одними из важных и широко распространенных видов инженерных сооружений транспортного строительства. Их возводят для удерживания от обрушения откосов насыпей и выемок железных и автомобильных дорог, в качестве противооползневых и противообвальных сооружений на подходах к порталам тоннелей, для защиты дорожного земляного полотна от размывов, а также при строительстве причальных сооружений [1–5].

Инженерная защита автомобильных дорог является важнейшей частью инфраструктуры. Такие объекты могут выйти из строя в течение срока службы эксплуатации из-за различных проблем, включая отсутствие надлежащего проектирования или технического обслуживания, а также износа материалов, использование плохих дренажных систем и т. д.

В частности, в подпорных сооружениях механизмы разрушения вызваны нарушением несущей способности, трещинами в бетонных и железобетонных конструкциях, а также повреждением арматуры, закладных деталей, коррозией и т. д.

В связи с этим анализ основополагающих факторов, влияющих на надежность объектов транспортного сооружения, является важнейшим аспектом для обеспечения устойчивости и снижения возможного риска деформации или обрушения стен [6–11].

Существуют различные виды работ по мероприятиям инженерной защиты, отличающиеся друг от друга.

По содержанию и ремонту технический отчет включает:

- проект технического задания;
- ведомость дефектов;
- ведомость объемов работ;
- сметную документацию;
- основной комплект чертежей для выполнения строительно-монтажных работ.

По реконструкции или капитальному ре-

монту:

- проект технического задания;
- расчет стоимости выполнения проектно-изыскательских работ;
- укрупненный расчет стоимости выполнения строительно-монтажных работ.

По предотвращению чрезвычайных ситуаций:

- заключение с обоснованием необходимости выполнения срочных мероприятий;
- ведомость объемов работ;
- основной комплект чертежей для выполнения строительно-монтажных работ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Рассмотрим оползневые участки дорог и рекомендуемые мероприятия в рамках проведенного обследования на примере автомобильной дороги А-147 Джубга – Сочи – граница с Республикой Абхазия (рис. 1, 2).

Обследование автомобильных дорог

Диагностика подпорных стен выполняется с целью определения технического состояния конструкции. По результатам проведенного анализа выявленных дефектов и в соответствии с требованиями нормативной документации она реализуется в несколько этапов: подготовительные работы, визуальное и инструментальное обследование [12–18].

Основываясь на сведениях, которые были получены в процессе проведения сбора информации об объекте исследования, изучения внешней среды при эксплуатации сооружения, а также измерений и оценки степени повреждений установленных дефектов, определяются категория состояния и степень надежности, а также масштаб повреждений [19–30].

В соответствии с приказом Министерства транспорта Российской Федерации № 402 от 16.11.2012 утверждена следующая классификация работ: капитальный ремонт, ремонт автомобильных дорог, работы по содержанию автомобильных дорог.

Рассмотрим оползневые участки автомобильных дорог.

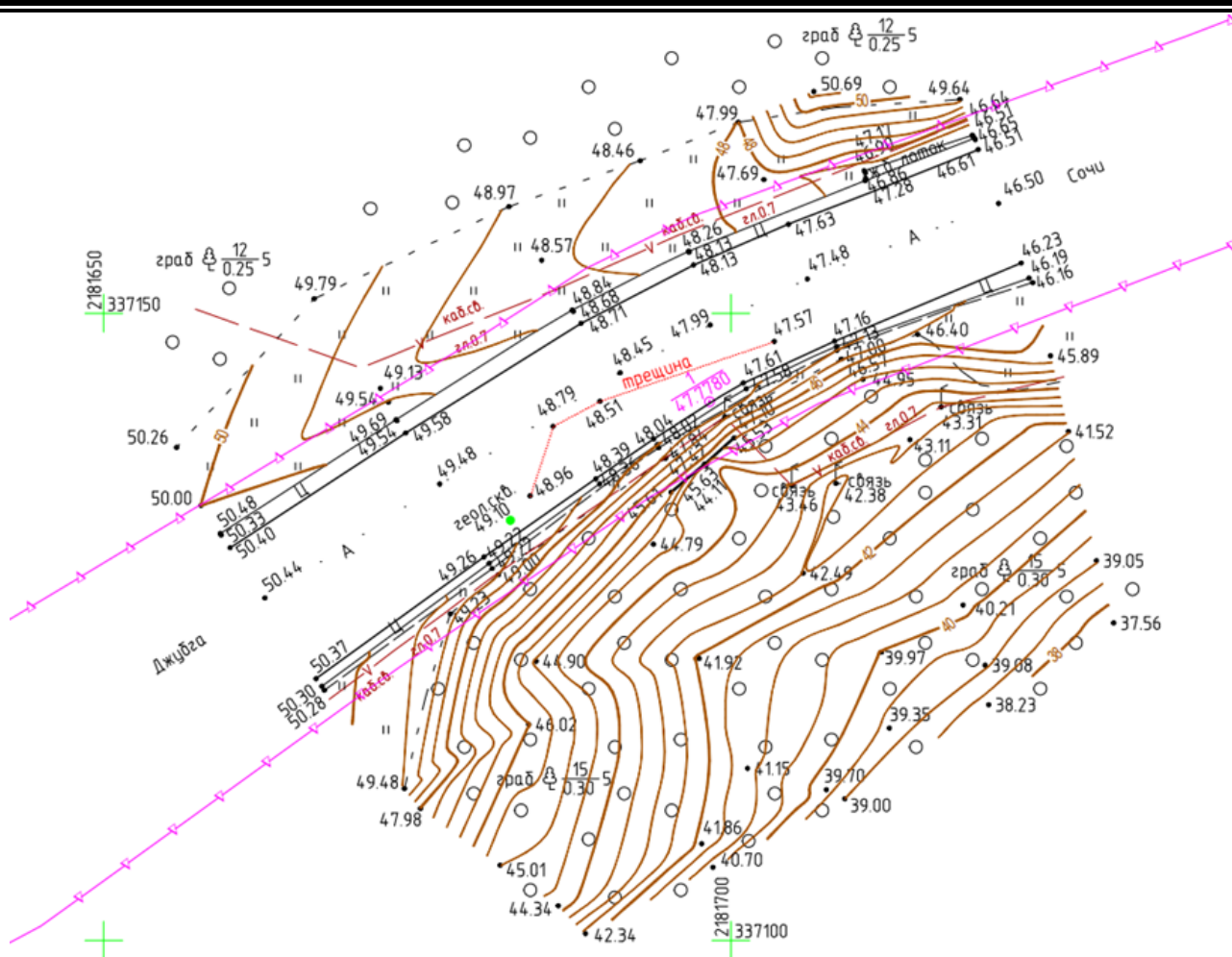


Рис. 1. Топографическая съемка участка обследования
Fig. 1. Topographic survey of the survey area



Рис. 2. Визуальное обследование удерживающего сооружения и оползневого участка
Fig. 2. Visual inspection of the retaining structure and landslide area

Участок на км 65+375 – км 65+413
Протяженность участка составляет 38 м.

Оползневые процессы развиваются справа по ходу километража автомобильной дороги

(рис. 3). Работы необходимо выполнять в рамках капитального ремонта участка автомобильной дороги.

Рекомендуются следующие мероприятия по стабилизации оползневых процессов и приведению автомобильной дороги в норма-

тивное техническое состояние:

- устройство противооползневого сооружения на свайном основании протяженностью 56 м;
- восстановление автомобильной дороги протяженностью 80 м.



Рис. 3. Участок км 65+375 – км 65+413
Fig. 3. Section km 65+375 – km 65+413

Чтобы стабилизировать развитие деформаций на данном участке возможно выполнение работ, не представленных в классификации по инженерной защите автомобильных дорог – планово-предупредительных

работ (ППР).

Они включают в себя устройство анкерного крепления склона через монолитные железобетонные плиты. Площадь крепления склона составляет 575 м² (рис. 4, 5).

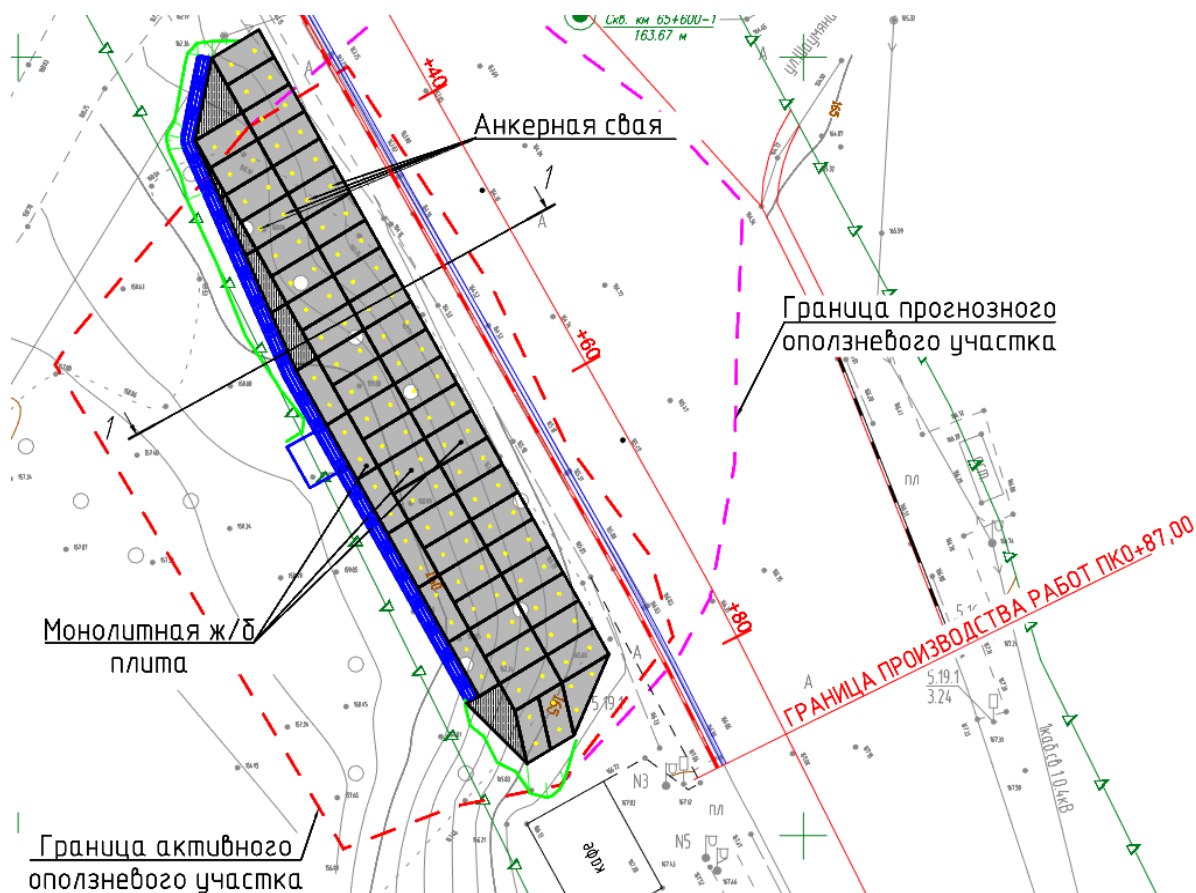


Рис. 4. Участок км 65+375 – км 65+413
Fig. 4. Section km 65+375 – km 65+413

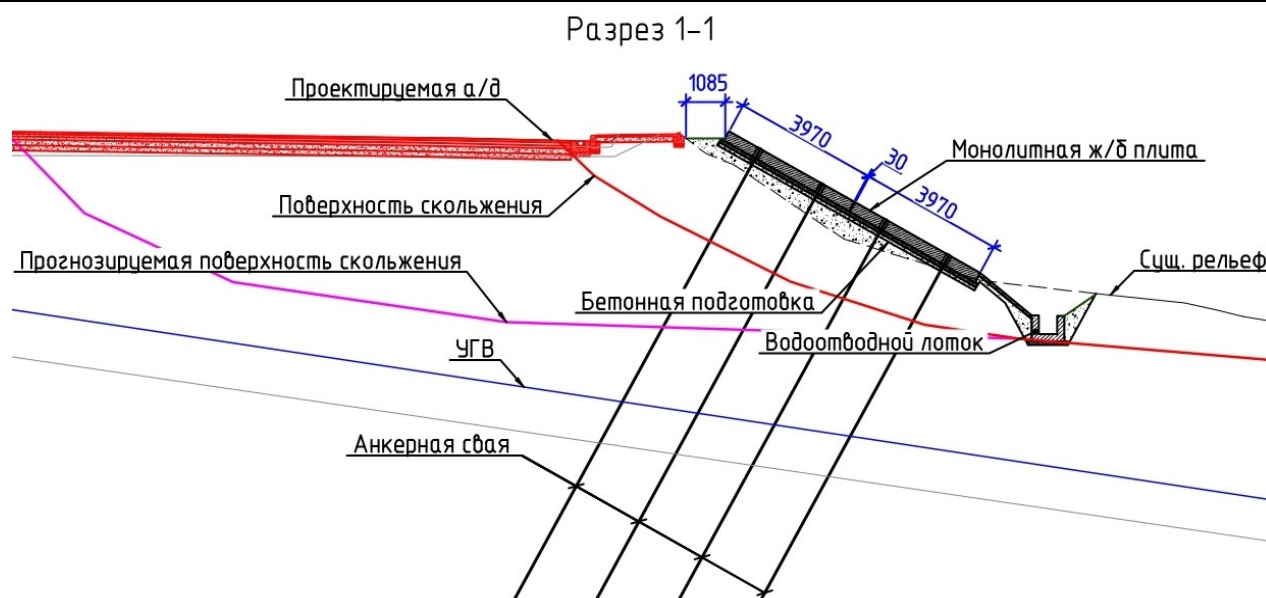


Рис. 5. Участок км 65+375 – км 65+413
Fig. 5. Section km 65+375 – km 65+413

Участок на км 90+173 – км 90+440

В границах обследования выделено два оползневых участка:

- первый протяженностью 57 м на км 90+173 – км 90+230;
- второй протяженностью 44 м на км 90+396 – км 90+440 (рис. 6).

Общая протяженность выделенных участков составляет 101 м. Оползневые процессы развиваются справа по ходу километража автомобильной дороги. В ходе обследования

выполнены следующие виды работ:

- топографическая съемка (площадь съемки составила 1,5 га);
- анализ полосы отвода;
- инженерно-геологические работы. Выполнено бурение двух геологических скважин, на основании которых построен один геологический разрез, проведены лабораторные исследования грунтов, изучены гидрогеологические условия участка;
- расчеты устойчивости склона.



Рис. 6. Участок км 90+173 – км 90+440
Fig. 6. Section km 90+173 – km 90+440

Работы необходимо выполнять в рамках капитального ремонта участка автомобильной дороги.

Рекомендуются следующие мероприятия по стабилизации оползневых процессов и приведению автомобильной дороги в нормативное техническое состояние:

- на участке км 90+173 – км 90+230 выполнить устройство противооползневого сооружения на свайном основании протяженностью 40 м, усиление существующей подпорной стены анкерными сваями на протяженности 13 м, укрепление склона торкрет-бетоном с нагельным креплением протяженностью 20

м, $S=200 \text{ м}^2$;

– на участке км 90+396 – км 90+440 выполнить устройство противооползневого сооружения на свайном основании протяженностью 60 м;

– восстановление автомобильной дороги протяженностью 160 м.

В качестве первоочередных работ в рамках содержания необходимо выполнить следующие мероприятия:

- проливка трещин битумом;
- сделать водоотводный лоток для сброса воды к выходному оголовку;

– очистить существующие стены от растительности.

С целью стабилизации развития деформаций на участке км 90+173 – км 90+230 возможно выполнение работ, не представленных в классификации по инженерной защите автомобильных дорог – ППР, включающих в себя усиление существующих подпорных стен монолитной железобетонной облицовочной панелью с креплением анкерными сваями на протяженности 46 м, укрепление склона торкрет-бетоном с нагельным креплением протяженностью 20 м, $S=200 \text{ м}^2$ (рис. 7–9).

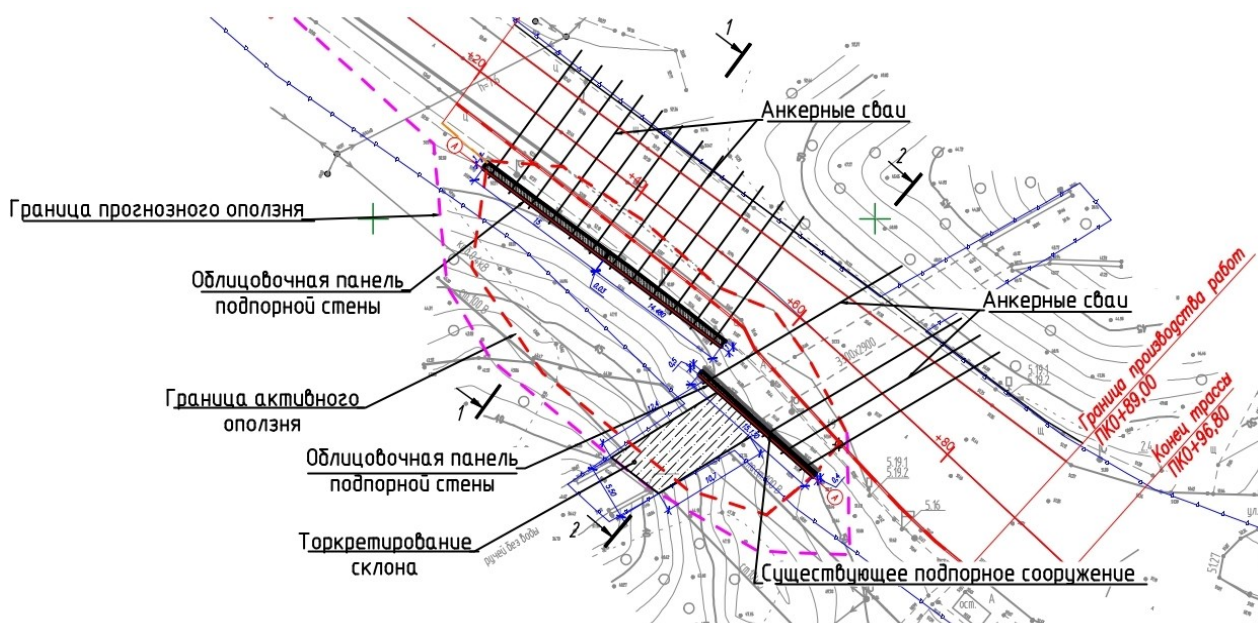


Рис. 7. Участок км 90+173 – км 90+440

Fig. 7. Section km 90+173 – km 90+440

Разрез 1-1

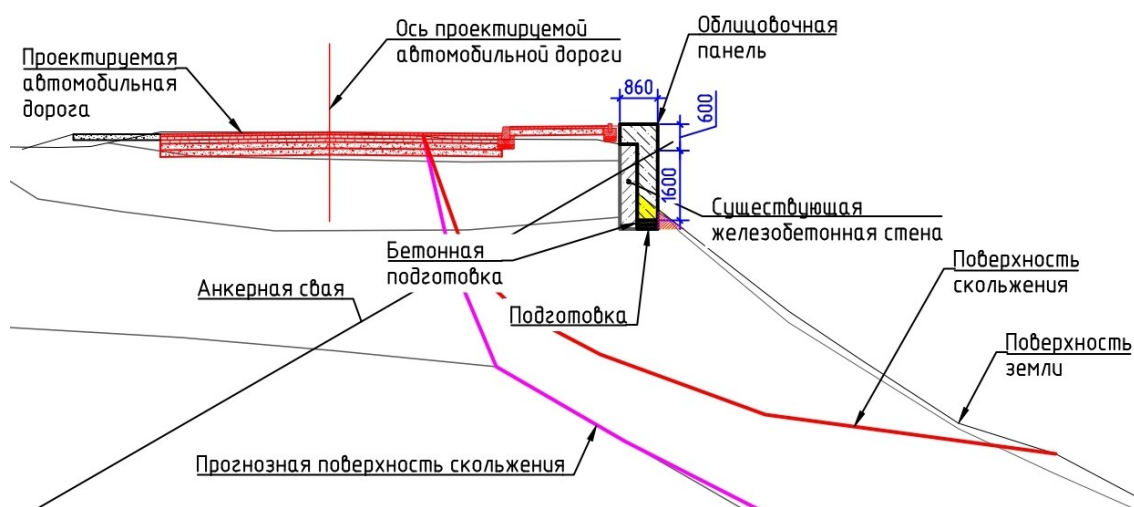


Рис. 8. Участок км 90+173 – км 90+440

Fig. 8. Section km 90+173 – km 90+440

Разрез 2-2

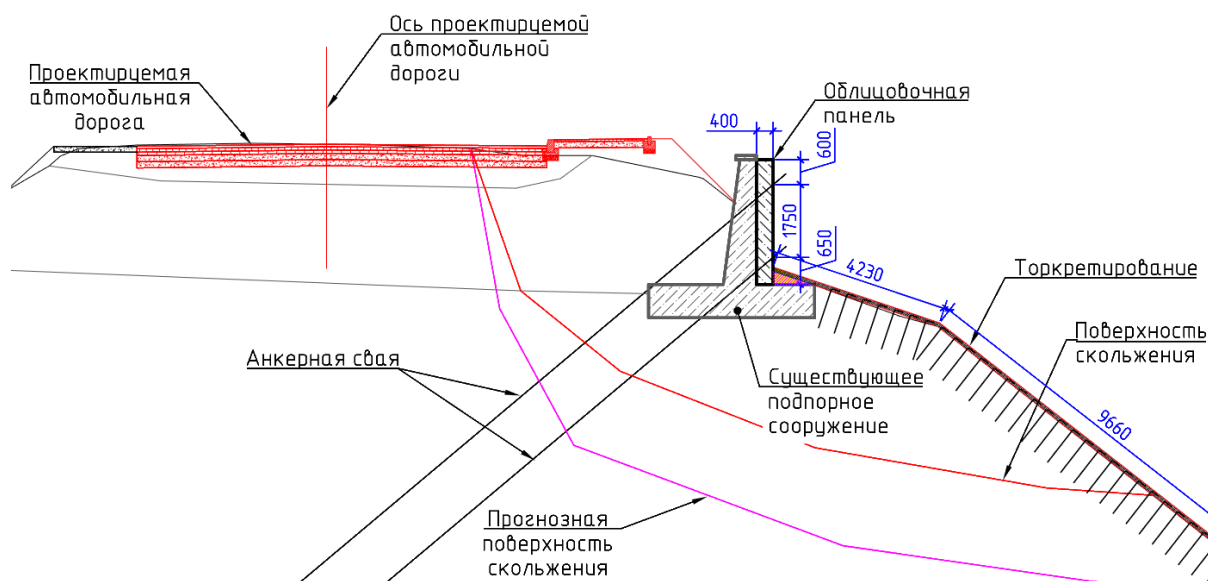


Рис. 9. Участок км 90+173 – км 90+440
Fig. 9. Section km 90+173 – km 90+440

Участок на км 149+133 – км 149+201

Протяженность участка составляет 68 м. Оползневые процессы развиваются слева по ходу километража автомобильной дороги (рис. 10).

В ходе обследования выполнены следующие виды работ:

- топографическая съемка (площадь съемки составила 1,5 га);
- анализ полосы отвода.
- инженерно-геологические работы. Выполнено бурение двух геологических скважин, на основании которых построен один геологический разрез, проведены лабораторные ис-

следования грунтов, изучены гидрогеологические условия участка;

- расчеты устойчивости склона.

Работы необходимо выполнять в рамках капитального ремонта участка автомобильной дороги. Рекомендуются следующие мероприятия по стабилизации оползневых процессов и приведению автомобильной дороги в нормативное техническое состояние:

- устройство противооползневого сооружения на свайном основании протяженностью 75 м;
- восстановление автомобильной дороги протяженностью 100 м.



Рис. 10. Участок км 149+133 – км 149+201
Fig. 10. Section km 149+133 – km 149+201

В качестве первоочередных работ в рамках содержания необходимо выполнить сле-

дующие мероприятия:

- заделка трещин в подпорной стене;

– отсыпка основания подпорной стены.
С целью стабилизации развития деформаций возможно выполнение работ, не представленных в классификации по инженерной защите

автомобильных дорог – ППР, включающих в себя усиление существующей подпорной стены анкерными сваями на участке протяженностью 39 м (рис. 11, 12).

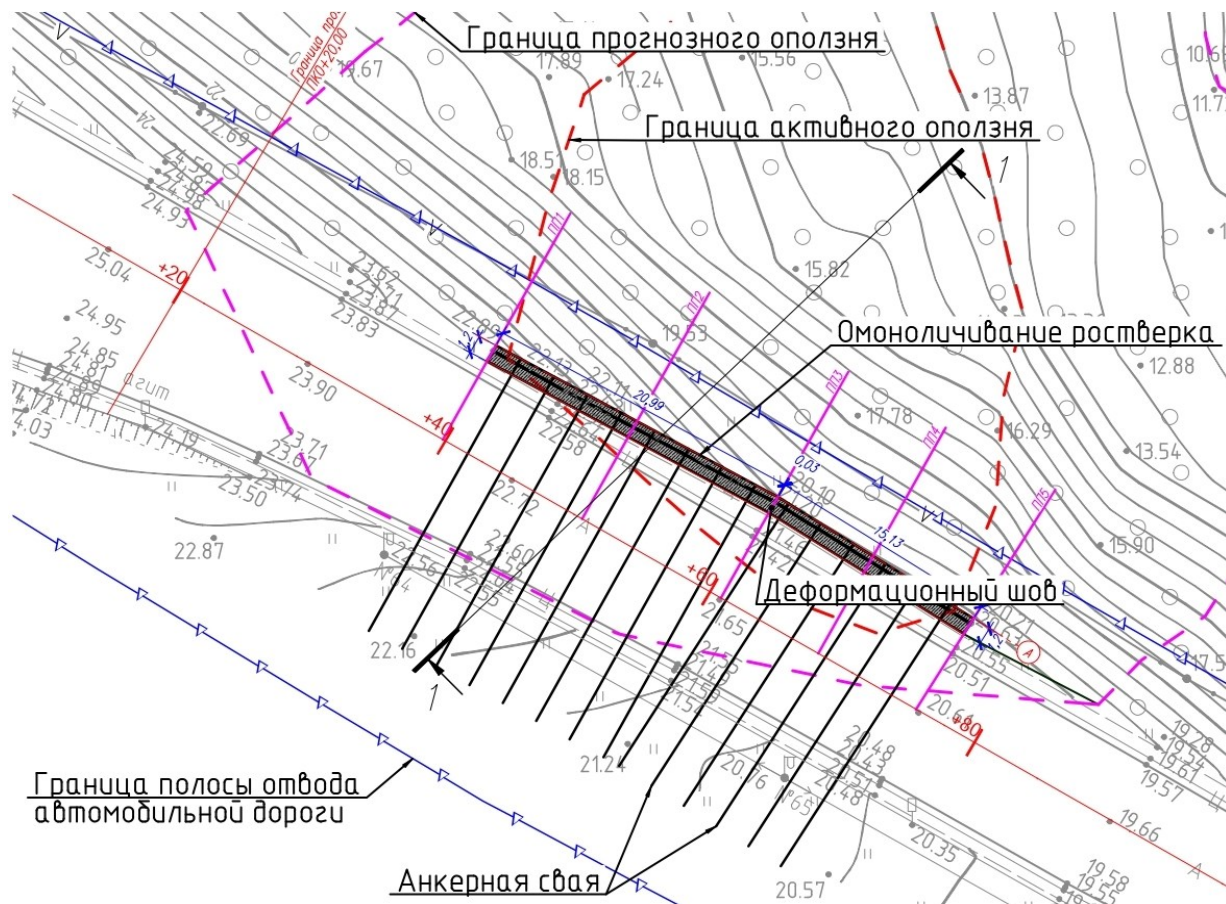


Рис. 11. Участок км 149+133 – км 149+201
Fig. 11. Section km 149+133 – km 149+201

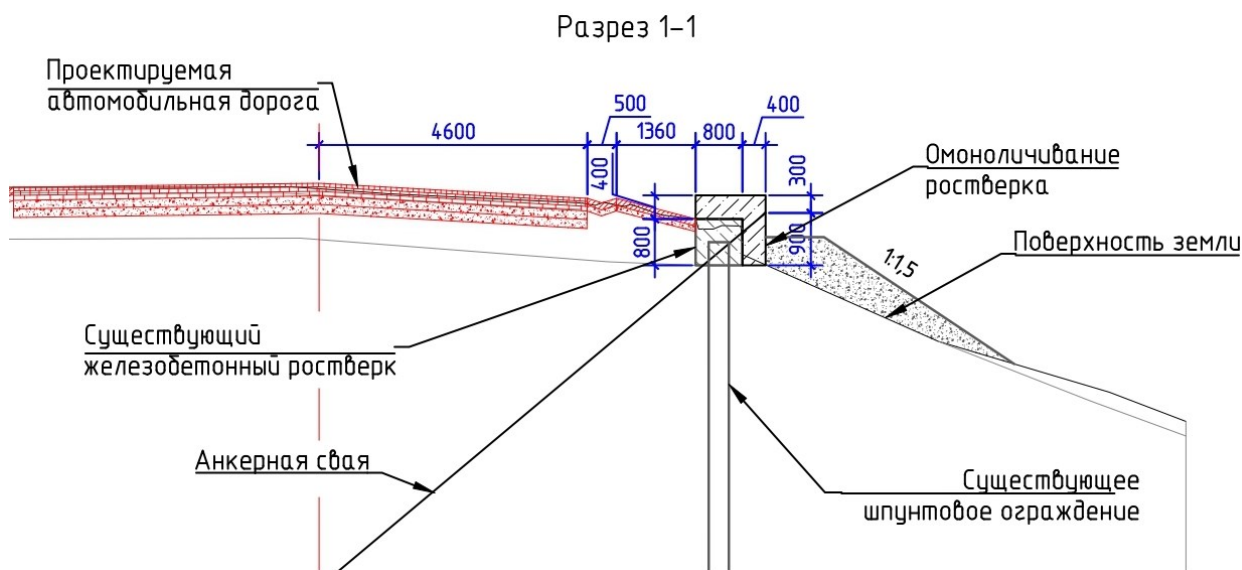


Рис. 12. Участок км 149+133 – км 149+201
Fig. 12. Section km 149+133 – km 149+201

Обследование участков автомобильной дороги А-147 Джубга – Сочи – граница с Республикой Абхазия показало, что планово-предупредительные работы были эффективно применены и составляли 19 % (таблица) от

общего количества оползневых участков.

Принятые решения обеспечивают надлежащее состояние стен и уменьшают число аварийных отказов и убытков из-за их возникновения.

Распределение оползневых участков по виду работ и стоимости строительно-монтажных работ
Distribution of landslide suites by type of work and cost of construction and installation work

Категория оползневой опасности	Количество		Стоимость строительно-монтажных работ	
	шт.	%	тыс. руб.	%
Капитальный ремонт	22	69	5 115 954,1	93
Планово-предупредительные работы	6	19	190 541,4	3
Ремонт	2	6	13 824,8	0,1
Ликвидация чрезвычайных ситуаций	2	6	198 885,2	4
Итого	32	100	5 519 205,5	100

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам обследования на примере автомобильной дороги А-147 Джубга – Сочи – граница с Республикой Абхазия были сделаны следующие выводы:

1. Согласно приказу Министерства транспорта Российской Федерации № 402 от 16.11.2012 утверждена следующая классификация работ: капитальный ремонт, ремонт автомобильных дорог, работы по содержанию автомобильных дорог. В результате обследования было выявлено, что на 19 % объектов необходимо выполнять работы, не предусмотренные в представленной классификации. В рамках диагностики подпорных стен была определена необходимость в добавлении нового вида работ – ППР. Основным пре-

имуществом является незначительное изменение конструкции подпорной стены для ее усиления, что в свою очередь позволит значительно сократить трудовые и экономические затраты.

2. Определение потенциально опасных оползневых участков и выполнение работ на опережение, а именно устранение причин образования оползневого участка до возникновения критических деформаций наиболее эффективными и выгодными средствами: устройство водоотведения, дренаж, усиление существующих конструкций, предотвращение размыва основания откоса и т. д.).

3. Представлены конструктивные решения ППР на оползневых участках и приоритетность их реализации.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Маций С.И., Маций В.С. Основные проблемы отечественной нормативной документации при устройстве габионных конструкций // Научно-технологическое обеспечение агропромышленного комплекса России: проблемы и решения. Сб. тезисов по материалам III Национальной конф. (г. Краснодар, 27–28 марта 2019 г.). Краснодар, 2019. С. 43–44. EDN: SBKHCC.
2. Якушев И.В., Сурина О.И. Проблемы прикладной инженерной геологии, связанные с несовершенством действующей нормативной документации и предложения по их решению // Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации. Материалы Семнадцатой Общероссийской науч.-практ. конф. и выставки изыскательских организаций (г. Москва, 29 ноября – 02 декабря 2022 г.). М., 2022. С. 27–38. EDN: SQKQDX.
3. Пшидаток М.А. Анализ основополагающих факторов, влияющих на надежность удерживающих сооружений // Проблемы развития современного общества. Сб. науч. статей 9-й Всероссийской национальной науч.-практ. конф. (г. Курск, 23–24 января 2024 г.). Курск, 2024. С. 265–267. EDN: PTZSOJ.
4. Togo Issa, Frolova I.E., Dang Thu Thao, Sabri Mohanad Muayad Sabri Basal Heave Stability Assessment of Retaining Structures in Cramped Construction Conditions: A Calculation Method // Construction of Unique Buildings and Structures. 2023. Iss. 1 (106). P. 1–13. <https://doi.org/10.4123/CUBS.106.3>.
5. Тарасеева Н.И., Андрианов К.А., Хрипунова М.С., Антонов А.Б. Устройство шпунтового ограждения котлованов и подпорных стен в сложных гидрогеологических условиях городской застройки // Моделирование и механика конструкций. 2020. № 12. С. 178–186. EDN: ZGFPXR.
6. Макаров А.В. Объекты транспортной инфраструктуры на автомобильных дорогах: курс лекций в 3-х частях. Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2022. Ч. 1. 322 с.

7. Пшидаток М.А., Маций С.И. Разработка методики оценки надежности, качества инженерной защиты для обеспечения устойчивости земляного полотна автомобильных дорог // Транспортные сооружения. 2023. Т. 10. № 4. С. 1–20. <https://doi.org/10.15862/13SATS423>. EDN: XKTGWB.
8. Tiwari R., Lam N. Displacement Based Seismic Assessment of Base Restrained Retaining Walls // Acta Geotechnica. 2022. Vol. 17. Iss. 8. P. 3675–3694. <https://doi.org/10.1007/s11440-022-01467-y>.
9. Yang Zhao, Hyungjoon Seo, Cheng Chen Displacement Mapping of Point Clouds: Application of Retaining Structures Composed of Sheet Piles // Journal of Civil Structural Health Monitoring. 2021. Vol. 11. Iss. 4. P. 915–930. <https://doi.org/10.1007/s13349-021-00491-y>.
10. Каримуллин И.С., Алехин В.Н., Ушаков О.Ю. Сейсмическое давление грунта на подпорные стены. Полный динамический анализ // Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений. Тезисы докладов VIII-го междунар. симпозиума (г. Тамбов, 17–21 мая 2023 г.). Тамбов, 2023. С. 352–353. EDN: MVHODN.
11. Baborykin M.Yu., Zhidilyaeva E.V. Application of The Methodology of Interpretation of Exogenous Geological Processes and Engineering-Geological Conditions for Mapping Hazardous Geological Processes and Zoning of Engineering-Geological Conditions of the Urban District of the Municipal Formation of the Resort City of Sochi of the Krasnodar Krai // Scientific Research of the SCO Countries: Synergy and Integration: Proceedings of The International Conference. 2023. Vol. 3. P. 207–215. EDN: NXWDNQ.
12. Зеркаль О.В. Оползни скольжения и оползни сдвига: особенности развития и типизация // Инженерная геология. 2021. Т. 16. № 1. С. 38–59. <https://doi.org/10.25296/1993-5056-2021-16-1-38-58>. EDN: JGMXDF.
13. Ryabukhin A.K., Lesnoy V.A., Kalashaov D.Y. Study of The Stability of Soil Slopes and Downhills with The Use of Fiberglass Dowels // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 698. Iss. 7. P. 1–11. <http://doi.org/10.1088/1757-899X/698/7/077003>.
14. Соколов Н.С. Геотехническая практика строительства на неустойчивых склонах // Строительные материалы. 2024. № 3. С. 48–52. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2024-822-3-48-52>. EDN: IFVMVA.
15. Kasharina T.P. Study of retaining structures made of composite materials // 16th Asian Regional Conference On Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Arc 2019. Taipei, 14–18 October 2019. Taipei, 2020. EDN: QRQQQQ.
16. Хомяков В.А., Еменов Ю.М., Дурсинов С.Б. Устойчивость подпорных стен на площадках, неблагоприятных в сейсмическом отношении // Фундаменты. 2021. № 2 (4). С. 14–17. EDN: AKBYCZ.
17. Топчий Д.В., Чипова З.Х. Технологические особенности устройства подпорных стен // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2024. № 4. С. 151–154. <https://doi.org/10.24412/2071-6168-2024-4-151-152>. EDN: NTQUAQ.
18. Ciawi Y., Hidayati A.M., Kedaton K.H., Tonyes S.G., Elizar Exploring the Mechanism of Vetiver System for Slope Reinforcement On Diverse Soil Types – A Review // Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology. 2023. Vol. 8. Iss. 2. P. 123–130. <https://doi.org/10.25299/jgeet.2023.8.2.12705>.
19. Гареева Н.Б., Амиров А.С., Бурляков М.П. Современные типы подпорных стен и технология их возведения // Проблемы строительного комплекса России. Материалы XXVII Всеросс. науч.-тех. конф., посвященной памяти профессора В.В. Бабкова (г. Уфа, 21–28 февраля 2023 г.). Уфа, 2023. С. 96–103. EDN: KJLYGL.
20. Haoyuan Hong, Desheng Wang, A-Xing Zhu, Yi Wang Landslide Susceptibility Mapping Based On the Reliability of Landslide and Non-Landslide Sample // Expert Systems with Applications. 2024. Vol. 243. P. 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.122933>.
21. Рябухин А.К., Лейер Д.В., Тетер Ш.Р., Карпова М.С. Особенности моделирования габионных подпорных стен при инженерной защите автомобильных дорог на оползневых склонах // Транспортные сооружения. 2019. Т. 6. № 4. С. 1–12. <https://doi.org/10.15862/01SATS419>. EDN: YLVKZH.
22. Лобкина В.А., Генсировский Ю.В. Активизация оползней при освоении горных территорий // Тихоокеанская геология. 2024. Т. 43. № 3. С. 109–119. <https://doi.org/10.30911/0207-4028-2024-43-3-109-119>. EDN: UFUQQY.
23. Yi He, Wenhui Wang, Lifeng Zhang, Youdong Chen, Yi Chen, Baoshan Chen [et al.] An Identification Method of Potential Landslide Zones Using InSAR Data and Landslide Susceptibility // Geomatics, Natural Hazards and Risk. 2023. Vol. 14. Iss. 1. P. 1–27. <https://doi.org/10.1080/19475705.2023.2185120>.
24. Сергеев И.И., Сергеев А.И., Вяткина Е.И. Обзор существующих видов подпорных стен для берегоукрепления: область применения, материалы, технология изготовления, особенности работы // Наука и молодежь. Материалы XVI Всеросс. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (г. Барнаул, 22–26 апреля 2019 г.). Барнаул, 2019. Т. 2. С. 542–545. EDN: KSUTZJ.
25. Li Chen, Peifeng Ma, Chang Yu, Yi Zheng, Qing Zhu, Yulin Ding Landslide Susceptibility Assessment in Multiple Urban Slope Settings with A Landslide Inventory Augmented by InSAR Techniques // Engineering Geology. 2023. Vol. 372. P. 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2023.107342>.
26. Рубин О.Д., Лисичкин С.Е., Фролов К.Е., Пашенко Ф.А., Зюзина О.В. Экспериментальные исследо-

- вания железобетонных подпорных стен // Природообустройство. 2020. № 1. С. 72–78. <https://doi.org/10.26897/1997-6011/2020-1-72-79>. EDN: WLCJFE.
27. Симонян В.В., Волков В.И. Роль геодезических методов в изучении динамики оползней // Естественные и технические науки. 2021. № 4 (155). С. 193–195. EDN: DZQEET.
28. Дьяков И.М., Дьяков А.И., Дьякова Ю.И. Особенности усиления и реконструкции гравитационных подпорных стен автодорог в сложных инженерно-геологических условиях // Строительство и технологическая безопасность. 2022. № S1. С. 91–97. EDN: FFIXVU.
29. Лотенкова М.Д., Татьяников Д.А. Армогрунтовые подпорные стены в транспортном строительстве // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. 2022. Т. 1. С. 186–189. EDN: JNJCMA.
30. Чернеев А.М., Шевцова М.А., Безрук Г.В. Способы устройства подпорных стен в условиях вечной мерзлоты // Перспективы науки. 2020. № 11 (134). С. 262–266. EDN: MCETFL.

REFERENCES

- Matsii S.I., Matsii V.S. The Main Problems of Domestic Regulatory Documentation for The Installation of Gabion Structures. In: *Nauchno-tekhnologicheskoe obespechenie agropromyshlennogo kompleksa Rossii: problemy i resheniya. Sbornik tezisev po materialam III Natsional'noi konferentsii = Scientific and Technological Support of the Russian Agro-Industrial Complex: Problems and Solutions. Collection of Abstracts Based On Materials from The III National Conference*. 27–28 March 2019, Krasnodar. Krasnodar; 2019. p. 43–44. (In Russ.). EDN: SBKHCC.
- Yakushev I.V., Surina O.I. Problems of Applied Engineering Geology Associated with Imperfections in Current Regulatory Documentation and Proposals for Their Solution. In: *Perspektivy razvitiya inzhenernykh izyskaniy v stroitel'stve v Rossiiskoi Federatsii. Materialy Semnadtsatoi Obscherossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii i vystavki izyskatel'skikh organizatsii = Prospects for The Development of Engineering Surveys in Construction in The Russian Federation. Materials of The Seventeenth All-Russian Scientific and Practical Conference and Exhibition of Survey Organizations*. 29 November – 2 December 2022, Moscow. Moscow; 2022. p. 27–38. (In Russ.). EDN: SQKQDX.
- Pshidatok M.A. Analysis of Fundamental Factors Affecting the Reliability of Retaining Structures. In: *Problemy razvitiya sovremennogo obshchestva. Sbornik nauchnykh statei 9-i Vserossiiskoi natsional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Problems of Development of Modern Society. Collection of Scientific Articles of The 9th All-Russian National Scientific and Practical Conference*. 23–24 January 2024, Kursk. Kursk; 2024. p. 265–267. (In Russ.). EDN: PTZSOJ.
- Togo Issa, Frolova I.E., Dang Thu Thao, Sabri Mohanad Muayad Sabri Basal heave stability assessment of retaining structures in cramped construction conditions: A calculation method. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2023;1(106):1-13. <https://doi.org/10.4123/CUBS.106.3>.
- Taraseeva N.I., Andrianov K.A., Khripunova M.S., Antonov A.B. Device of Pipe Facing Of Bottles and Retaining Walls in Difficult Hydrogeological Conditions of Urban Development. *Modelirovanie i mekhanika konstruksii*. 2020;12:178-186. (In Russ.). EDN: ZGFPXR.
- Makarov A.V. *Objects of Transport Infrastructure On Highways: A Course of Lectures in 3 Parts*. Volgograd: Volgograd State Technical University, 2022. P. 1. 322 p. (In Russ.).
- Pshidatok M.A., Matsiy S.I. Methodology Development for Assessing the Reliability and Quality of Engineering Protection to Ensure the Stability of the Motorways Earth Bed. *Russian Journal of Transport Engineering*. 2023;10(4):1-20. (In Russ.). <https://doi.org/10.15862/13SATS423>. EDN: XKTGWB.
- Tiwari R., Lam N. Displacement Based Seismic Assessment of Base Restrained Retaining Walls. *Acta Geotechnica*. 2022;17(8):3675-3694. <https://doi.org/10.1007/s11440-022-01467-y>.
- Yang Zhao, Hyungjoon Seo, Cheng Chen Displacement Mapping of Point Clouds: Application of Retaining Structures Composed of Sheet Piles. *Journal of Civil Structural Health Monitoring*. 2021;11(4):915-930. <https://doi.org/10.1007/s13349-021-00491-y>.
- Karimullin I.S., Alekhin V.N., Ushakov O.Yu. Seismic Pressure of Soil On Retaining Walls. Full-Scale Dynamic Analysis. In: *Aktual'nye problemy komp'yuternogo modelirovaniya konstruksii i sooruzhenii. Tezisy dokladov VIII-go mezhdunarodnogo simpoziuma = Current Problems of Computer Modeling Of Structures And Structures. Abstracts of The VIII International Symposium*. 17–21 May 2023, Tambov. Tambov; 2023. p. 352–353. (In Russ.). EDN: MVHODN.
- Baborykin M.Yu., Zhidilyaeva E.V. Application of The Methodology of Interpretation of Exogenous Geological Processes and Engineering-Geological Conditions for Mapping Hazardous Geological Processes and Zoning of Engineering-Geological Conditions of the Urban District of the Municipal Formation of the Resort City of Sochi of the Krasnodar Krai. *Scientific Research of the SCO Countries: Synergy and Integration: Proceedings of The International Conference*. 2023;3:207-215. EDN: NXWDNQ.
- Zerkal O.V. Rotational and Translational Slides: Peculiarities of Development and Classification. *Engi-*

- neering Geology World*. 2021;16(1):38-59. (In Russ.). <https://doi.org/10.25296/1993-5056-2021-16-1-38-58>. EDN: JGMXDF.
13. Ryabukhin A.K., Lesnoy V.A., Kalashaov D.Y. Study of The Stability of Soil Slopes and Downhills with The Use of Fiberglass Dowels. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019;698(7): 1-11. <http://doi.org/10.1088/1757-899X/698/7/077003>.
14. Sokolov N.S. Geotechnical Practice of Construction On Unstable Slopes. *Construction Materials*. 2024;3:48-52. (In Russ.). <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2024-822-3-48-52>. EDN: IFVMVA.
15. Kasharina T.P. Study of retaining structures made of composite materials. In: *16th Asian Regional Conference On Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Arc 2019*. 14–18 October 2019, Taipei. Taipei; 2020. EDN: QRQQQQ.
16. Khomyakov V.A., Emenov Yu.M., Dursynov S.B. Stability of Retaining Walls On Seismically Unfavorable Sites. *Fundamenty*. 2021;2(4):14-17. (In Russ.). EDN: AKBYCZ.
17. Topchy D.V., Chipova Z.H. Technological Features of Construction of Retaining Walls. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. 2024;4:151-154. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/2071-6168-2024-4-151-152>. EDN: NTQUAQ.
18. Ciawi Y., Hidayati A.M., Kedaton K.H., Tonyes S.G., Elizar Exploring the Mechanism of Vetiver System for Slope Reinforcement On Diverse Soil Types – A Review. *Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology*. 2023;8(2):123-130. <https://doi.org/10.25299/jgeet.2023.8.2.12705>.
19. Gareeva N.B., Amirov A.S., Burlyakov M.P. Modern Types of Retaining Walls and Technology for Their Construction. In: *Problemy stroitel'nogo kompleksa Rossii. Materialy XXVII Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii, posvyashchennoi pamyati professora V.V. Babkova = Problems of The Russian Construction Complex. Materials of The XXVII All-Russian Scientific and Technical Conference Dedicated to The Memory of Professor V.V. Babkova*. 21–28 February 2023, Ufa. Ufa; 2023. p. 96–103. (In Russ.). EDN: KJLYGL.
20. Haoyuan Hong, Desheng Wang, A-Xing Zhu, Yi Wang Landslide Susceptibility Mapping Based On the Reliability of Landslide and Non-Landslide Sample. *Expert Systems with Applications*. 2024;243:1-18. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.122933>.
21. Ryabukhin A.K., Leyer D.V., Teter Sh.R., Karpova M.S. Features of Modeling Gabion Retaining Walls for Engineering Protection of Roads On Landslide Slopes. *Russian Journal of Transport Engineering*. 2019;6(4):1-12. (In Russ.). <https://doi.org/10.15862/01SATS419>. EDN: YLVKZH.
22. Lobkina V.A., Gensiorovsky Yu.V. Landslide Activation During the Development of Mountainous Areas. *Russian Journal of Pacific Geology*. 2024;43(3):109-119. (In Russ.). <https://doi.org/10.30911/0207-4028-2024-43-3-109-119>. EDN: UFUQQY.
23. Yi He, Wenhui Wang, Lifeng Zhang, Youdong Chen, Yi Chen, Baoshan Chen [et al.] An Identification Method of Potential Landslide Zones Using InSAR Data and Landslide Susceptibility. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. 2023;14(1):1-27. <https://doi.org/10.1080/19475705.2023.2185120>.
24. Sergeev I.I., Sergeev A.I., Vyatkina E.I. Review of Existing Types of Retaining Walls for Bank Protection: Scope, Materials, Manufacturing Technology, Operating Features. In: *Nauka i molodezh'. Materialy XVI Vse-rossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh = Science and youth. Materials of the XVI All-Russian Scientific and Technical Conference of Students, Postgraduate Students and Young Scientists*. 22–26 April 2019, Barnaul. Barnaul; 2019. Vol. 2. p. 542–545. (In Russ.). EDN: KSUTZJ.
25. Li Chen, Peifeng Ma, Chang Yu, Yi Zheng, Qing Zhu, Yulin Ding Landslide Susceptibility Assessment in Multiple Urban Slope Settings with A Landslide Inventory Augmented by InSAR Techniques. *Engineering Geology*. 2023;372:1-18. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2023.107342>.
26. Rubin O.D., Lisichkin S.E., Frolov K.E., Pashchenko F.A., Zyuzina O.V. The Experimental Research of the Reinforced Concrete Retaining Walls. *Environmental Engineering*. 2020;1:72-78. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/1997-6011/2020-1-72-79>. EDN: WLCJFE.
27. Simonyan V.V., Volkov V.I. The Role of Geodetic Methods in Studying the Dynamics of Landslides. *Natural and technical sciences*. 2021;4(155):193-195. (In Russ.). EDN: DZQEET.
28. Dyakov I.M., Dyakov A.I., Dyakova Yu.I. Features of Reinforcement and Reconstruction Gravity Retaining Walls of Highways in Difficult Engineering and Geological Conditions. *Construction and Industrial Safety*. 2022;S1:91-97. (In Russ.). EDN: FFIXVU.
29. Lotenkova M.D., Tat'yannikov D.A. Reinforced Soil Retaining Walls in Transport Construction. *Modernizatsiya i nauchnye issledovaniya v transportnom komplekse*. 2022;1:186-189. (In Russ.). EDN: JNJCMA.
30. Cherneev A.M., Shevtsova M.A., Bezruk G.V. Methods for Arranging Retaining Walls in Permafrost Conditions. *Science Prospects*. 2020;11(134):262-266. (In Russ.). EDN: MCETFL.

Информация об авторах

Пшидаток Маргарита Адамовна,
аспирант,
Кубанский государственный аграрный
университет имени И.Т. Трубилина,
350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13,
Россия,
✉ e-mail: margaritaaa7@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1839-551X>
Author ID: 1023557

Маций Сергей Иосифович,
д.т.н., профессор,
Кубанский государственный аграрный
университет имени И. Т. Трубилина,
350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13,
Россия,
e-mail: matsiy@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2410-2725>
Author ID: 144442

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 30.08.2024.
Одобрена после рецензирования 13.09.2024.
Принята к публикации 18.09.2024.

Information about the authors

Margarita A. Pshidatok,
Postgraduate Student,
Kuban state agrarian University
named after I.T. Trubilin,
13 Kalinina St., Krasnodar 350044,
Russia,
✉ e-mail: margaritaaa7@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1839-551X>
Author ID: 1023557

Sergey I. Matsiy,
Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Kuban state agrarian University
named after I. T. Trubilin,
13 Kalinina St., Krasnodar 350044,
Russia,
e-mail: matsiy@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2410-2725>
Author ID: 144442

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 30.08.2024.
Approved after reviewing 13.09.2024.
Accepted for publication 18.09.2024.



Совмещение параметрической дискретности и непрерывности в анализе динамических моделей сооружений

В.И. Соболев^{1✉}, Д.А. Кармазинов², Т.Н. Черниговская³

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

³Иркутский государственный университет путей сообщения, Россия, Иркутск

Аннотация. Предлагаемая работа посвящена методу построения динамических моделей, содержащих стержневые изгибаемые элементы с распределенными и сосредоточенными инерционными и жесткостными параметрами и их анализу на основе метода гармонического элемента. Расчет сооружений на вибрационные воздействия, осуществляется, как правило, на основе дискретизации масс. Использование таких методов связано с известными трудностями. Дискретные модели являются априорно приближенными с ограниченными возможностями оценки погрешности. Динамические параметры модели зависят от ее размерности, а также от методов преобразования. Численные результаты с массивами и матрицами большой размерности затрудняют возможность анализа и оценки результатов расчета. Расчеты сооружений на стационарные динамические воздействия, основанные на использовании элементов с распределенными и сосредоточенными массами, позволяют избежать перечисленных последствий полной дискретизации. Однако такие дискретно-континуальные (гибридные) динамические модели связаны с необходимостью сшивки разнородных элементов на этапе формирования и неизбежными трудностями решения таких «комбинированных» систем, содержащих обыкновенные дифференциальные уравнения и уравнения в частных производных. Перечисленные проблемы разрешаются при использовании авторского метода гармонического элемента, осуществляющего узловую сшивку разнородных элементов, а также позволяющего получать решения в виде амплитуд колебаний узлов комбинированной модели по определенным необходимым направлениям. Указанные особенности позволяют выделить предложенный метод в отдельный класс с названием метода гармонических элементов.

Ключевые слова: изгибаемые элементы, сосредоточенные массы, уравнения Эйлера-Бернулли, уравнения динамики

Для цитирования: Соболев В.И., Кармазинов Д.А., Черниговская Т.Н. Совмещение параметрической дискретности и непрерывности в анализе динамических моделей сооружений // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 4. С. 777–786. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-4-777-786>. EDN: OBHCWT.

Original article

Combining parametric discreteness and continuity for analyzing dynamic models of structures

Vladimir I. Sobolev^{1✉}, Danil A. Karmazinov², Tatyana N. Chernigovskaya³

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

³Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russia

Abstract. This paper describes a method for building dynamic models that contain rod bending elements with distributed and concentrated inertial and stiffness parameters, and their analysis based on the harmonic element method. As a rule, the vibration effects of structures are calculated on the basis of mass discretization, although the application of such methods entails certain difficulties.

Discrete models are considered to be a priori approximations with limited possibilities of error estimation. The dynamic parameters of the model vary depending on its dimensionality as well as on the transformation methods. Numerical results with arrays and matrices of high dimensionality make it difficult to analyze and evaluate the calculation results. Therefore, structural calculations for stationary dynamic effects based on the use of elements with distributed and concentrated masses prevent the above-mentioned consequences of full discretization. However, such discrete-continuum (hybrid) dynamic models require the sewing of heterogeneous elements at the formation stage. In addition, some complications occur when solving these combined systems containing ordinary differential equations and partial differential equations. These issues can be solved by using the author's harmonic element method, implementing the nodal sewing of heterogeneous elements, as well as providing solutions as amplitudes of oscillations of the combined model nodes along certain necessary directions. The specified features of the proposed method allow us to identify it as a separate class with the name of the harmonic element method.

Keywords: bendable elements, concentrated masses, Euler-Bernoulli equations, equations of dynamics

For citation: Sobolev V.I., Karmazinov D.A., Chernigovskaya T.N. Combining parametric discreteness and continuity for analyzing dynamic models of structures. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(4):777-786. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-4-777-786>. EDN: OBHCWT.

ВВЕДЕНИЕ

Предлагаемый подход требует анализа возможности построения динамической системы, совмещающей наличие элементов с распределенными и сосредоточенными инерционными и жесткостными параметрами. Сложной системой принято называть систему, состоящую из разнородных элементов, в совокупности определяющих ее новые свойства. Вышеуказанное определение не обладает достаточной конкретностью, в связи с чем требуется указать критерии, которые позволят установить отношение некоторых элементов к тому или иному варианту системы.

Определение этого понятия изложено в принципах системного анализа [1, 2], в соответствии с которыми «система» должна удовлетворять ряду известных принципов:

- конечной цели;
- единства;
- связанности;
- модульного построения.

Динамической системой принято считать формализованное математическое отображение физической системы, позволяющее исследовать свойства и состояние физической системы [4, 3].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Возможность дискретного и непрерывного в моделировании динамических систем

В более ранних работах авторов [5–7] обоснованы и приведены формализованные соображения о целесообразности разработки и применения в расчетной практике моделей, отображающих динамику взаимодействия в

системе элементов с непрерывными и сосредоточенными свойствами распределения инерционных величин – комбинированных динамических моделей (КДМ).

Необходимость формирования комбинированной динамической системы возникает для адекватного отображения динамических процессов в системах с нерегулярными дискретными и непрерывными параметрическими включениями [8, 9]. К таким динамическим системам относятся расчетные модели жилых и общественных зданий и сооружений, несущие конструкции которых имеют непрерывное, нерегулярное распределение инерционных параметров. Для промышленных сооружений свойственно наличие дискретных инерционных элементов, представленных технологическим оборудованием.

Отдельные конструктивные элементы с непрерывным распределением инерционных параметров интерпретируются в виде дискретных инерционных включений (например, диски перекрытий зданий при горизонтальных колебаниях). Таким образом, при горизонтальных колебаниях математическая модель здания должна сочетать элементы с распределенными инерционными и жесткостными параметрами, представленными вертикальными несущими конструкциями, с дискретными элементами, представленными дисками перекрытий (рис. 1).

Возникает необходимость формирования комбинированной динамической системы [8, 9]. Возникают определенные трудности при попытке непосредственно формализовать

КДМ средствами математического анализа. Так, при совмещении дискретных и континуальных компонентов таких систем требуется совмещение обыкновенных дифференциаль-

ных уравнений и дифференциальных уравнений в частных производных соответственно, попытки совместного решения которых влекут многочисленные трудности [10].

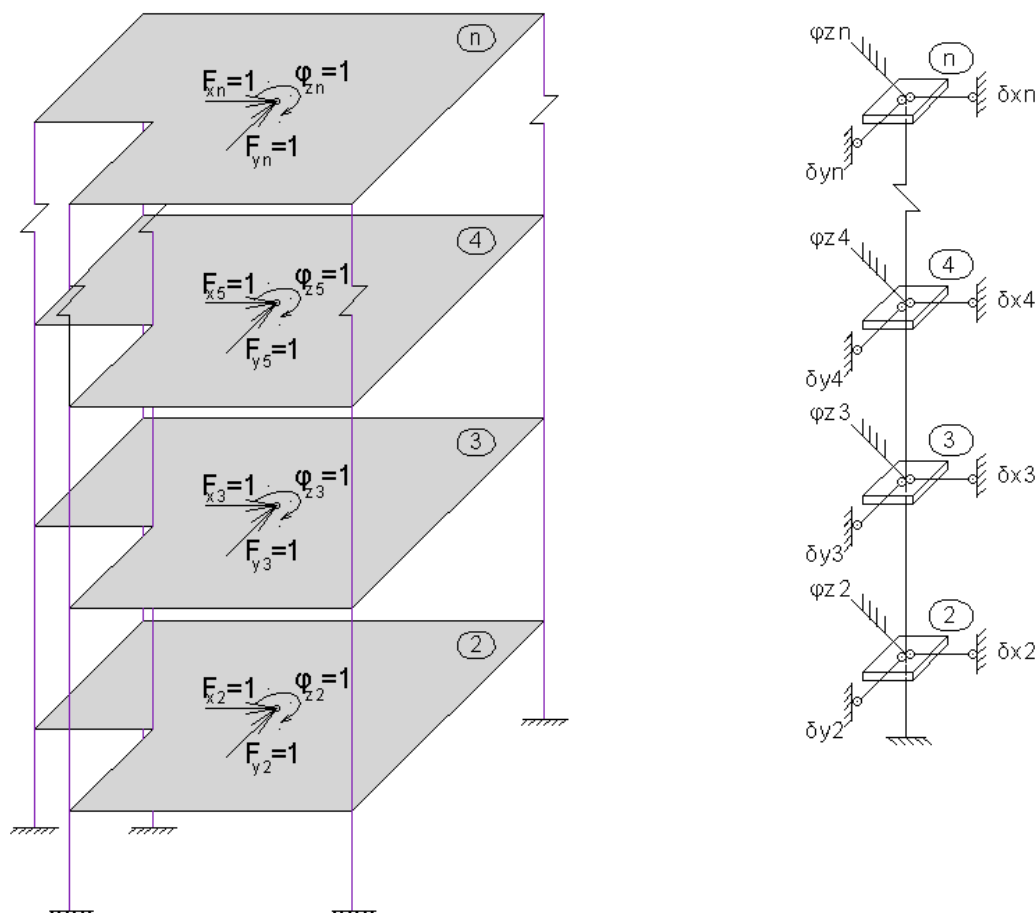


Рис. 1. Многоэтажное здание и его расчетная схема при горизонтальных динамических воздействиях, вертикальные элементы условно обозначают несущие конструкции с распределенными массами, перекрытия представлены твердыми телами
Fig. 1. A multi-storey building and its design scheme under horizontal dynamic influences, vertical elements conventionally denote load-bearing structures with distributed masses, overlaps are represented by solids

Действительно, для возможности моделирования сложного непрерывного процесса на уровне некоторой системы возникает необходимость его дискретизации.

Весьма распространены [11–13] обсуждения, касающиеся сопоставлению дискретных и континуальных способов аппроксимации. Выделим наиболее существенные аргументы в пользу тех и других:

- большая часть данных, с которыми приходится оперировать в прикладных исследованиях, могут быть получены лишь с некоторой точностью. Верхняя граница уровня точности определяется значением ошибки, вычислительной или измерительной.

Следствием данного обстоятельства является дискретность данных;

- в тех ситуациях, когда желательно использование непрерывных переменных, всегда можно аппроксимировать непрерывные переменные (как и непрерывные параметры) с наперед заданной точностью определяющими дискретными величинами;

- при работе с непрерывными переменными и параметрами возникает ряд чисто математических ограничений и сложностей.

При этом, преимущества непрерывных методов столь же очевидны и аргументированы:

- при дискретизации параметров реальной физической системы полученным результирующим числовым набором затруднительно обойтись без функциональной аппроксимации этого набора. Обосновано это тем, что дискретизированные результаты теряют свой-

ство исходной аналитичности и часто нуждаются в дополнительных процедурах функционального отображения;

- при расчетах и моделировании динамики сложных сооружений проблемы физической и геометрической разнородности осложняются проблемой размерности, поскольку порядки систем уравнений, полученных в результате дискретизации, а также количество неизвестных, достигают иногда миллионов. Это приводит к необходимости применения специальных технологий формирования и преобразования разреженных матриц [14];

- использование современной вычислительной техники вкупе с развитыми вычислительными алгоритмами позволяет получить решение не только в численном, но и в аналитическом виде.

В качестве примеров программ, реализующих подобный подход, можно привести системы Maple, Mathcad, Mathematica и Magma [15].

Очевидно, что в наиболее общем виде каркасное сооружение может быть представлено следующими элементами: пластины, балки с распределенными параметрами масс и упругости, твердые тела, сосредоточенные массы.

При этом в качестве узловых соединений могут быть использованы узлы с наличием классических линейных и угловых связей строительной механики [16, 17]. Учитывая разнообразие узловых связей, можно сделать вывод о том, что преимущества дискретных и непрерывных свойств подсистем могут быть взаимно дополняемыми.

Следовательно, можно сделать следующие выводы:

- невозможность непосредственного аналитического описания сооружения в целом совместима с аналитической формализацией балок;

- использование дискретных элементов в ряде случаев неизбежно требует использования узлов и соответствующих узловых связей;

- граничные условия элементов с распределенными параметрами при достаточной факторизации и обоснованности узловых связей обеспечивают единственность решения;

- узлы соединения как дискретных, так и континуальных динамических элементов всегда можно использовать для приложения в них внешних сосредоточенных сил;

- система разрешающих уравнений может быть формализуема на основе динамического равновесия по направлениям связей узлов.

Метод динамических жесткостей, метод гармонического элемента

При анализе динамического состояния сложных механических систем построение моделей стационарной динамики оказывается весьма трудоемкой задачей. Морис Био, как один из возможных вариантов решения, предлагает метод динамических жесткостей (Coupled Oscillations of Aircraft), являющийся развитием метода цепных дробей. Лежащий в его основе принцип (Structural Topology Optimization of Tall Buildings for Dynamic Seismic), а также особенности его приложения, излагаются в [18, 19].

Дадим здесь лишь краткое описание ключевого принципа описываемого метода: анализируемую континуальную механическую модель подвергают дроблению на составные части, ключевым условием которого является формирование элементов с достаточно просто формализующимися функциями динамических жесткостей. Важная особенность классического метода динамических жесткостей состоит в использовании линейных функций жесткости. Последнее обстоятельство приводит к выполнению принципа суперпозиции, позволяющего достаточно просто сформировать разрешающую систему уравнений. «Сшивка» решений ансамбля элементов модели обеспечивается посредством сопряжения выделенных элементов системы в их общих узловых точках. «Сшивка» решений является нетривиальной задачей. Для облегчения ее решения можно ввести понятие связей в строительной механике. Данный шаг позволит аналитически учесть граничные условия элементарных элементов и произвести их «сшивку» в единую систему. Кроме вышеописанного использования связей, традиционного для строительной механики, можно применить апробированные методы системного анализа и строительной механики в процессе моделирования, анализа и получения решения. В качестве пояснения проиллюстрируем изображением перекрестного набора балок с наложением связей, препятствующих перемещениям узлов набора и поворотам поперечных сечений балок на плоскости (рис. 2). Эти связи пронумеруем для упорядочивания в заданной системе. Исключение процедуры дискретизации балочных элементов, возможное при наличии только лишь балочных элементов, позволяет значительно уменьшить размерность решаемой задачи, а также иметь аналитическую интерпретацию результатов анализа стационарного динамического процесса.

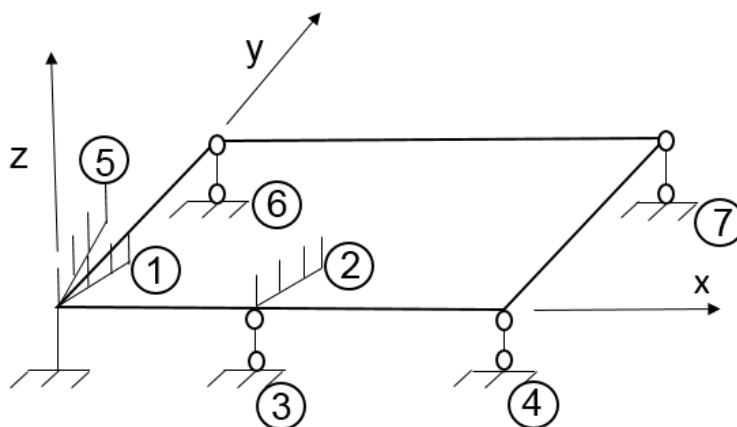


Рис. 2. Пример сшивки балочных элементов с обозначением связей:
1, 2 – угловые связи в плоскости xoz; 5 – угловые связи в плоскости yoz;
3, 4, 6, 7 – линейные связи по направлению оси z
Fig. 2. Example of crosslinking of beam elements with the designation of connections:
1, 2 – angular connections in the xoz plane; 5 – angular connections in the yoz plane;
3, 4, 6, 7 – linear connections in the direction of the z axis

Следует указать пределы применимости метода динамических жесткостей. Так, в своей классической формулировке метод динамических жесткостей может быть применим лишь в отношении стержневых механических систем. Данное обстоятельство не является существенным ограничением использования данного метода при анализе динамических характеристик промышленных зданий, поскольку большая их часть представляет собой системы с полным каркасом, т. е. они являются стержневыми.

Рассмотрим модификацию метода динамических жесткостей следующего рода: к стержневому элементу с наложенными по его концам связями приложим сосредоточенное продольное воздействие N . Пусть также данный элемент имеет изгибную жесткость EJ и совершает вынужденные стационарные гармонические колебания с некоторой частотой ω . Данный элемент определим как гармонический конечный элемент в том смысле, что он моделирует не статические, но динамические жесткостные характеристики некоторого реального элемента, т. е. отражает способность реальных стержневых элементов менять свои жесткостные характеристики в условиях внешних гармонических воздействий.

Запишем уравнение динамического состояния балки в виде (1), известном под названием уравнения Эйлера-Бернулли [20]:

$$\rho V_{tt} + EJ V_{xxxx} - N V_{xx} = 0 \quad (1)$$

Стационарное динамическое состояние балки с постоянной частотой определяется его частным решением вида:

$$V(x) = Y(x) \sin(\omega t)$$

И вектором граничных условий:

$$Y = (Y(0), Y_x|_{x=0}, Y(l), Y_{xx}|_{x=a})^T, \quad (2)$$

компоненты которого расположены в порядке нумерации связей граничных узлов балки.

Использование частного решения уравнения (1) позволяет определить динамическое состояние балки.

Вектор (2) определяет краевые условия для уравнения (1). Если для граничных точек каждого элемента задать поочередное гармоническое единичное перемещение связей по их направлениям (гармоническое воздействие), то во всех связях, наложенных на краевые узлы элемента, возникнут соответствующие гармонические реакции с частотой заданного гармонического перемещения. Полученная матрица амплитуд динамических реакций в наложенных связях определит динамическое состояние элемента при единичных гармонических воздействиях. Принимая во внимание факт линейности рассматриваемой задачи, получаем, что состояние элемента при воздействиях, отличных от единичных, определено и, следовательно, определено состояние всего ансамбля гармонических конечных элементов. Проиллюстрируем изложенное на примере. Пусть расчетная схема балки, расположенной по оси X , содержит три связи (рис. 3). Возможное количество связей граничных узлов балки при плоских изгибных колебаниях может быть равным от двух до четырех. Примем положительным направление реактивного момента в угловой связи, направление которого совпадает с направле-

нием вращения часовой стрелки. Положительным направлением каждой силы будем считать направление действия вдоль положительного направления оси (рис. 4). Для определения элементов матрицы амплитуд дина-

мических реакций вынужденных колебаний балки подставим искомое решение вида:

$$V(x) = Y(x) \sin(\omega t)$$

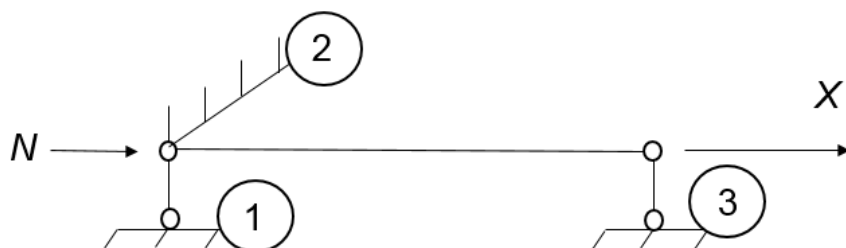


Рис. 3. Вид балочного элемента и нумерация связей
Fig. 3. Type of beam element and numbering of links

Выполнив подстановку в уравнение (1) искомого решения и сократив обе части полученного уравнения на $\sin(\omega t)$, получаем обыкновенное дифференциальное уравнение вида для амплитуды $Y(x)$:

$$Y^{(IV)}(x) - \frac{NY^{(2)}(x)}{EJ} - Y(x) \frac{\omega^2 \rho}{EJ} = 0 \quad (3)$$

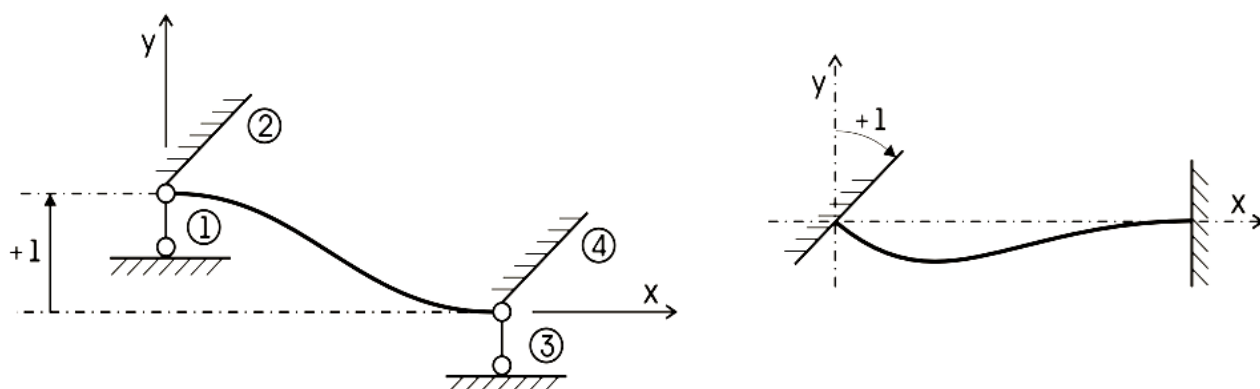


Рис. 4. Нумерация связей и реакций в связях изгибаемого элемента
Fig. 4. Numbering of bonds and reactions in the bonds of the bent element

Определив квадраты корней биквадратного характеристического уравнения (3) в виде

$$\mu_{1,2}^2 = -\frac{N}{2EJ} \pm \sqrt{\frac{N^2}{4(EJ)^2} + \frac{\omega^2 \rho}{EJ}}$$

и обозначив эти величины в виде:

$$\mu_1 = q, \quad \mu_2 = -q, \quad \mu_3 = is, \quad \mu_4 = -is$$

В которых

$$q = \sqrt{-\frac{N}{2EJ} + \sqrt{\frac{N^2}{4(EJ)^2} + \frac{\omega^2 \rho}{EJ}}}$$

$$s = \sqrt{\frac{N}{2EJ} + \sqrt{\frac{N^2}{4(EJ)^2} + \frac{\omega^2 \rho}{EJ}}}$$

Можем получить частное решение уравнения (3), отображающее вынужденные стационарные колебания с частотой ω , амплитуды которого могут быть представлены в виде линейной комбинации четырех линейно независимых функций, образующих базисную вектор функцию:

$$Y(x) = H(x) \vec{C} \quad (4)$$

$$H(x) = (e^{qx}, e^{-qx}, \sin(sx), \cos(sx))$$

Здесь вектор $\vec{C}$ является вектором коэффициентов линейной комбинации линейно независимых функций, формирующих базисную вектор-функцию $H(x)$. Краевые условия решения уравнения (3) сформированы в порядке нумерации связей.

Для выбранной расчетной схемы балки справедливо тождество $Y_{xx}|_{x=a} \equiv 0$. Для определения функции $Y(x)$ коэффициенты линейных комбинаций решений при задании единичных гармонических перемещений связей в порядке их нумерации определяются в виде матрицы C путем поочередного задания единичных амплитуд перемещений по направлениям связей с номерами 1, 2, 3.

Векторы амплитуд заданных единичных перемещений, упорядоченные по номерам связей, образуют матрицу L . Матрицы C и L имеют вид:

$$C = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} \\ c_{41} & c_{42} & c_{43} \end{pmatrix} \quad L = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Элементы матрицы C определяются из решения систем уравнений:

$$AC = L \quad (5)$$

где A – матрица, образованная из базисной вектор-функции $H(x)$ следующим образом:

$$A = \begin{pmatrix} H(0) \\ H_x(x)|_{x=0} \\ H(l) \\ H_{xx}(x)|_{x=a} \end{pmatrix}^T$$

Матрица A при поочередных в порядке их нумерации единичных гармонических перемещениях связей (матрица амплитуд гармонических реакций) определяется в виде:

$$R = -EJC^T H \quad (6)$$

здесь

$$H = (H_{xxx}^T(x)|_{x=0}, H_{xx}^T(x)|_{x=0}, H_{xxx}^T(x)|_{x=a})$$

Вектор Y амплитуд узловых перемещений, соответствующий вектору F амплитуд гармонических сосредоточенных силовых воздействий по направлениям узловых связей, определяется решением системы линейных уравнений вида:

$$RY = F$$

Преобразовав, имеем

$$-EJ(A^{-1}L)^T H = F$$

Функция $Y(x)$ амплитуд перемещений оси балки (функция формы вынужденных колебаний) при заданной узловой форме F силового гармонического воздействия имеет вид:

$$Y(x) = Y^T C^T H^T(x)$$

Изложенные методы использованы при анализе виброактивности ряда обогатительных фабрик компании «АПРОСА», а также в разработке системы виброзащиты конструкций от динамических воздействий работы технологического оборудования, расположенного на верхних этажах фабрик. Использование изложенной методики позволило убедиться в формировании динамических моделей гораздо меньших размерностей по сравнению с моделями, сформированными на основе дискретизации масс.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из всего вышеизложенного, можно сделать следующие выводы:

1. Предлагаемый способ формирования модели позволяет совмещать элементы с сосредоточенными и распределенными инерционными параметрами в единой динамической системе.

2. Динамическое состояние такой системы формализуемо с помощью системы уравнений динамического равновесия, сформированной относительно узловых точек при помощи матриц динамических реакций бесконечномерных и дискретных элементов по направлениям степеней свободы динамической системы.

3. Матрицы динамических реакций в узловых связях по направлениям узловых степеней свободы бесконечномерных изгибаемых элементов (балок с распределенными инерционными параметрами), полученных посредством частных решений уравнения Эйлера-Бернулли, можно сформировать в виде амплитуд динамических реакций системы, что позволяет использовать узловое (дискретное) описание динамической системы с разнородными граничными условиями и сложными границами расчетных областей.

4. Предложенный подход позволяет избежать трудностей в получении решений систем обыкновенных дифференциальных уравнений динамики и уравнений в частных производных Эйлера-Бернулли посредством «сшивки» решений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Губанов В.А., Захаров В.В., Коваленко А.Н. Введение в системный анализ. Ленинград: Ленинградский университет, 1988. 227 с.
2. Кликс Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач / пер с англ. М.А. Зуев; под ред. А.И. Горлина. М.: Радио и связь, 1990. 538 с.
3. Poincare H. Les Méthodes Nouvelles De La Mécanique Céleste. Paris: Gauthier-Villars et fils, 1892. 408 p.
4. Бутенин Н.В., Неймарк Ю.И., Фуфаев Н.А. Введение в теорию нелинейных колебаний. М.: Наука, 1976. 384 с.
5. Соболев В.И. Дискретно-континуальные динамические системы и виброизоляция промышленных грохотов. Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2002. 201 с.
6. Соболев В.И., Черниговская Т.Н. Метод гармонического элемента в моделировании стационарных динамических процессов // Вестник ВСГУТУ. 2010. № 1. С. 43–51. EDN: MLJWYL.
7. Соболев В.И., Черниговская Т.Н. Построение прямоугольного гармонического элемента для моделирования колебаний тонкой пластины // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2007. № 4 (16). С. 28–32. EDN: JURRIN.
8. Гаскин В.В., Снитко А.Н., Соболев В.И. Динамика и сейсмостойкость зданий и сооружений. Иркутск: Иркутский государственный университет, 1992. 164 с. EDN: WHZMGH.
9. Клаф Р., Пензиен Дж. Динамика сооружений / пер. с англ. Л.Ш. Климник, А.В. Швецова М.: Стройиздат, 1979. 320 с.
10. Гальперин И. Введение в теорию обобщенных функций / пер. с англ. М.С. Агранович; под ред. Г.Е. Шилова. М.: Издательство иностранной литературы, 1954. 64 с.
11. Ахиезер Н.И. Лекции по теории аппроксимации. М.: Наука, 1965. 407 с.
12. Бернштейн С.Н. Экстремальные свойства полиномов и наилучшее приближение непрерывных функций одной вещественной переменной. М., Ленинград: Главная редакция общетехнической литературы, 1937. Ч. 1. 203 с.
13. Галиев К.С., Гордон Л.А., Розин Л.А. О построении универсальной матрицы жесткости в методе конечного элемента // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 1974. Т. 105. С. 174–188.
14. Петряков В.Б. Конструирование радиоэлектронной аппаратуры. М.: Советское радио, 1969. 208 с.
15. Девенпорт Дж., Сирэ И., Турнье Э. Компьютерная алгебра. Системы и алгоритмы алгебраических вычислений / пер. с фр. Е.В. Панкратьева; под ред. А.В. Михалёва. М.: Мир, 1991. 350 с.
16. Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятия (индустриальная динамика) / пер. с англ.; под ред. Д.М. Гвишиани. М.: Прогресс, 1971. 340 с.
17. Хаяси Тихиро Вынужденные колебания в нелинейных системах / пер. с англ. В.И. Бурдина; под ред. А.И. Лурье. М.: Издательство иностранной литературы, 1957. 204 с.
18. Айрапетов Э.Л., Генкин М.Д., Косарев О.И., Павлов Б.И., Федосеев Ю.Н. Применение ЭВМ для расчета многосвязных систем методом динамической жесткости // Решение задач машиноведения на ЭВМ. М.: Наука, 1975. С. 42–47.
19. Колоушек В., Бабушка И. Динамика строительных конструкций / пер. с чеш. Г.Д. Рычагов, Г.А. Якушева. М.: Стройиздат, 1965. 632 с.
20. Корнейчук Н.П., Личун А.А., Доронин В.Г. Аппроксимация с ограничениями. Киев: Наукова Думка, 1988. 250 с.

REFERENCES

1. Gubanov V.A., Zakharov V.V., Kovalenko A.N. *Introduction to Systems Analysis*. Leningrad: Leningrad University, 1988. 227 p. (In Russ.).
2. Klier Dzh. *Systemology. Automation of Solving Systemic Problems*, 1990, 538 p. (Russ. ed.: *Sistemologiya. Avtomatizatsiya resheniya sistemnykh zadach*. Moscow: Radio and Communications, 1990. 538 p.).
3. Poincare H. *Les Méthodes Nouvelles De La Mécanique Céleste*. Paris: Gauthier-Villars et fils, 1892. 408 p.
4. Butenin N.V., Neimark Yu.I., Fufaev N.A. *Introduction to The Theory of Nonlinear Oscillations*. Moscow: Nauka, 1976. 384 p. (In Russ.).
5. Sobolev V.I. *Discrete-Continuous Dynamic Systems and Vibration Isolation of Industrial Screens*. Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University, 2002. 201 p. (In Russ.).

6. Sobolev V.I., Chernigovskaya T.N. Method of Harmonic Element in Stationary Dynamic Process Modeling. *Vestnik VSGTU*. 2010;1:43-51. (In Russ.). EDN: MLJWYL.
7. Sobolev V.I., Chernigovskaya T.N. Construction of A Rectangular Harmonic Element for Modeling the Vibrations of a Thin Plate. *Modern Technologies. System Analysis. Modeling*. 2007;4(16):28-32. (In Russ.). EDN: JURRIN.
8. Gaskin V.V., Snitko A.N., Sobolev V.I. *Dynamics and Seismic Resistance of Buildings and Structures*. Irkutsk: Irkutsk State University, 1992. 164 p. (In Russ.). EDN: WHZMGH.
9. Klaf R., Penzien Dzh. Dynamics of Structures, 1979, 320 p. (Russ. ed.: *Dinamika sooruzhenii*. Moscow: Stroyizdat, 1979. 320 p.).
10. Gal'perin I. Introduction to the Theory of Generalized Functions, 1954, 64 p. (Russ. ed.: *Vvedenie v teoriyu obobshchennykh funktsii*. Moscow: Foreign Literature Publishing House, 1954. 64 p.).
11. Akhiezer N.I. *Lectures on Approximation Theory*. Moscow: Nauka, 1965. 407 p. (In Russ.).
12. Bernshtein S.N. *Extremal Properties of Polynomials and Best Approximation of Continuous Functions of One Real Variable*. Moscow, Leningrad: Main Editorial Board of General Technical Literature, 1937. P. 1. 203 p. (In Russ.).
13. Galiev K.S., Gordon L.A., Rozin L.A. On The Construction of a Universal Stiffness Matrix in The Finite Element Method. *Izvestiya VNIIG im. B.E. Vedeneeva*. 1974;105:174-188.
14. Petryakov V.B. *Design of Radio-Electronic Equipment*. Moscow: Sovetskoe Radio, 1969. 208 p. (In Russ.).
15. Devenport Dzh., Sire I., Turn'e E. Computer Algebra. Systems and Algorithms for Algebraic Calculations, 1991, 350 p. (Russ. ed.: *Komp'yuternaya algebra. Sistemy i algoritmy algebraicheskikh vychislenii*. Moscow: Mir, 1991. 350 p.).
16. Forrester Dzh. Fundamentals of Enterprise Cybernetics (Industrial Dynamics), 1971, 340 p. (Russ. ed.: *Osnovy kibernetiki predpriyatiya (industrial'naya dinamika)*. Moscow: Progress, 1971. 340 p.).
17. Khayasi Tikhro Forced Oscillations in Nonlinear Systems, 1957, 204 p. (Russ. ed.: *Vynuzhdennye kolebaniya v nelineinykh sistemakh*. Moscow: Foreign Literature Publishing House, 1957. 204 p.).
18. Airapetov E.L., Genkin M.D., Kosarev O.I., Pavlov B.I., Fedoseev Yu.N. Application of A Computer for Calculating Multi-Connected Systems by The Dynamic Stiffness Method. In: *Solving Problems of Mechanical Engineering On a Computer*. Moscow: Nauka, 1975. p. 42–47. (In Russ.).
19. Koloushek V., Babushka I. Dynamics of Building Structures, 1965, 632 p. (Russ. ed.: *Dinamika stroitel'nykh konstruktsii*. Moscow: Stroyizdat, 1965. 632 p.).
20. Korneichuk N.P., Lichun A.A., Doronin V.G. *Approximation with Constraints*. Kyiv: Naukova Dumka, 1988. 250 p. (In Russ.).

Информация об авторах

Соболев Владимир Иванович,

д.т.н., профессор,
профессор кафедры механики
и сопротивления материалов,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
✉ e-mail: vladsobol@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0916-1604>
Author ID: 4041

Кармазинов Данил Андреевич,

инженер-конструктор
ООО «СтройПроектСервис»,
664074, г. Иркутск, ул. Леси Украинки, д. 35,
Россия,
аспирант,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: dkarmazinov@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-1803-1270>
Author ID: 1182680

Information about the authors

Vladimir I. Sobolev,

Dr. Sci (Eng.), Professor, Professor
of the Department of Mechanics
and Resistance of Materials,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
✉ e-mail: vladsobol@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0916-1604>
Author ID: 4041

Danil A. Karmazinov,

Design Engineer
of StroyProektService LLC,
35 Lesi Ukrainka St., Irkutsk 664074, Russia,
Postgraduate Student,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,
Russia,
e-mail: dkarmazinov@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-1803-1270>
Author ID: 1182680

Черниговская Татьяна Николаевна,
старший преподаватель кафедры математики,
Иркутский государственный университет
путей сообщения,
664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15,
Россия,
e-mail: tannikch@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-1525-4663>
Author ID: 520237

Tatyana N. Chernigovskaya,
Senior Lecturer
of the Department of Mathematics,
Irkutsk State Transport University,
15 Chernyshevskogo St., Irkutsk 664074,
Russia,
e-mail: tannikch@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-1525-4663>
Author ID: 520237

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад
в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

Conflict of interests

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

Все авторы прочитали и одобрили
окончательный вариант рукописи.

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

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 27.09.2024.
Одобрена после рецензирования 07.10.2024.
Принята к публикации 08.10.2024.

Information about the article

The article was submitted 27.09.2024.
Approved after reviewing 07.10.2024.
Accepted for publication 08.10.2024.



Предпосылки подготовки профильных специалистов для эксплуатационного этапа жизненного цикла зданий, строений, сооружений

Л.Н. Чернышов^{1✉}, Л.Ф. Смолина², А.Г. Калгушкин³

^{1,2,3}Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

Аннотация. Для того, чтобы здания, строения и сооружения соответствовали своему функциональному назначению, требованиям комфорта и безопасности, они должны быть обеспечены определенным комплексом работ и мероприятий. В статье, на основе различных документов, сформировано представление о компетенциях, которыми должен обладать специалист, занимающийся организацией и проведением работ по эксплуатации зданий, строений и сооружений. Анализируя закрепленные в отраслевых профессиональных стандартах знания, навыки и умения, авторы обосновывают тезис о том, что услуга жилищно-коммунального хозяйства – производная от действий работников предприятий данной сферы по эксплуатации ими зданий, строений, сооружений, инженерно-технического оборудования и сетей. Для обеспечения нормативного срока службы здания, строения, сооружения и предотвращения преждевременного снижения технико-экономических, эргономических, эстетических и иных характеристик объектов недвижимости, существует своеобразный инструментарий инженерно-технических, организационно-экономических и иных мероприятий (осмотры, планирование, технические регламенты выполнения работ по обслуживанию, содержанию и ремонту, методы изучения и определения состояния конструктивных элементов и инженерных систем зданий, строений и сооружений). В данной публикации приведено обоснование формирования нового направления подготовки специалистов для обеспечения эффективного функционирования зданий, строений, сооружений на этапе жизненного цикла – эксплуатации. Определены профессиональные компетенции, которыми должен обладать специалист в этой области.

Ключевые слова: жизненный цикл здания, строения, сооружения, эксплуатация, методы оценки, техническое состояние, факторы

Для цитирования: Чернышов Л.Н., Смолина Л.Ф., Калгушкин А.Г. Предпосылки подготовки профильных специалистов для эксплуатационного этапа жизненного цикла зданий, строений, сооружений // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 4. С. 787–796. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-4-787-796>. EDN: MWBZGO.

Original article

Prerequisites for the training of specialists in the operational phase of the life cycle of buildings, structures, and facilities

Leonid N. Chernyshov^{1✉}, Lidiya F. Smolina², Aleksey G. Kalgushkin³

^{1,2,3}National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

Abstract. To ensure the normative service life of a building, structure, construction and to prevent premature reduction of technical, economic, ergonomic, aesthetic, and other characteristics of real estate objects, a specific set of engineering, organizational, economic, and other measures can be used (inspections, planning, technical regulations for maintenance, upkeep and repair, methods of studying and determining the condition of structural elements and engineering systems of buildings, structures

and facilities). From the analysis of knowledge, skills, and abilities fixed in the sectoral professional standards the thesis is substantiated that the service of housing and communal services is derived from the actions of employees of enterprises of this sphere on their operation of buildings, structures, facilities, engineering equipment and networks. This paper provides justification for the formation of a new direction of training specialists to ensure effective functioning of buildings, structures, facilities at the stage of life cycle, i.e. operation. The competencies of a specialist engaged in organizing and carrying out works on maintenance of buildings, structures, and facilities are outlined.

Keywords: life cycle of building, buildings, structures, maintenance, methods of assessment, technical condition, factors

For citation: Chernyshov L.N., Smolina L.F., Kalgushkin A.G. Prerequisites for the training of specialists in the operational phase of the life cycle of buildings, structures, and facilities. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(4):787-796. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-4-787-796>. EDN: MWBZGO.

ВВЕДЕНИЕ

В основных понятиях Федерального закона о «Техническом регламенте о безопасности зданий и сооружений» дано очень важное для специалистов, осуществляющих или планирующих осуществлять деятельность в городском хозяйстве и в других источниках [1], определение жизненного цикла зданий, строений и сооружений. Это «...период, в течение которого выполняются инженерные изыскания, осуществляются архитектурно-строительное проектирование, строительство (в том числе консервация), эксплуатация (в том числе текущие ремонты), реконструкция, капитальный ремонт, снос здания или сооружения».

На этапах изыскания, проектирования и строительства создаются материальные объекты, обеспечивающие возможность осуществления различных видов деятельности в городском хозяйстве (рис. 1). Городское (муниципальное) хозяйство представляет собой сложную высокотехнологичную инфраструктуру способную, под началом местной публичной власти, обеспечить возможность сосуществования множеству людей на избранной территории (проживание и использование материальной среды для обеспечения своего благосостояния).

В соответствии с требованиями Градостроительного кодекса Российской Федерации объекты капитального строительства (ОКС) приобретают статус здания, строения и сооружения после процедуры ввода их в эксплуатацию, и в дальнейшем именуется – объекты недвижимости. С этого момента начинается длительный этап их использования в соответствии с функционалом, для ко-

торого создавалось здание, строение или сооружение (ЗСС). Этот период в специальной литературе именуется термином – эксплуатация [2, 3].

В соответствии с ГОСТ Р 51617 – 2000: «...эксплуатация – это стадия жизненного цикла объекта, на которой реализуются, поддерживаются и восстанавливаются его качества (работоспособное состояние)».

В ВСН 58-88(р) дано определение эксплуатационных показателей здания – «...совокупность технических, объемно-планировочных, санитарно-гигиенических, экономических и эстетических характеристик здания, обуславливающих его эксплуатационные качества».

Таким образом, термин «эксплуатация» имеет двойное значение.

Первое касается целевого использования ЗСС по назначению – школа, больница, спортивный комплекс, многоквартирный дом, очистное сооружение, цех промышленного предприятия или теплоэлектростанции, мусоросортировочный комплекс и др. Соответствующий «профиль» использования ЗСС определяется на стадии технического задания и проектирования, когда закладываются требования к планировочным решениям, конструктивным элементам, инженерным системам, отделочным материалам, а также специальному профильному оборудованию, оснастке, инвентарю (медицинскому, спортивному, офисному, торговому и т. д.). За сохранение «профиля» ЗСС отвечает его собственник и специальные службы организации/предприятия, функционирующие в рамках целевого назначения зданий, строений или сооружений.

Сфера производства	Сфера обслуживания	Сфера жизнеобеспечения	Сфера развития личности
1. Промышленное и/или сельскохозяйственное производство	1. Торгово-развлекательные организации	1. Правопорядок и пожарная безопасность	1. Наука и образование
2. Строительство	2. Гостиницы и рестораны	2. Жилищный фонд	2. Детские дошкольные учреждения
3. Грузовой транспорт	3. Социальная защита	3. Бытовое обслуживание	3. Культура и искусство
4. Связь и телекоммуникации	4. Дорожное хозяйство	4. Пассажирский транспорт	4. Здравоохранение
5. Ремесленники (малый и средний бизнес)	5. Банки и страховые компании	5. Социальные услуги пожилым людям	5. Физкультура и спорт

Ресурсы и услуги, предоставляемые коммунальным комплексом городского хозяйства (водоснабжение и водоотведение, тепло-, газо-, электроснабжение, благоустройство (уличная уборка, освещение, озеленение)), удаление твердых коммунальных отходов

Рис. 1. Материальные объекты деятельности в городском хозяйстве, потребляющие коммунальные ресурсы и услуги
Fig. 1. Material objects of activity in the municipal economy consuming public resources and services

Второе толкование этого термина отсылает нас к «Техническому регламенту о безопасности зданий и сооружений», где в ч. 1, ст. 36 сказано: «Безопасность здания или сооружения в процессе эксплуатации должна обеспечиваться посредством технического обслуживания, периодических осмотров и контрольных проверок и (или) мониторинга состояния основания, строительных конструкций и систем инженерно-технического обеспечения, а также посредством текущих ремонтов здания или сооружения». Таким образом, если на стадии создания ОКС разрабатывается проектная документация, то проводится выбор материалов и технологий, а также ведется и контролируется качество строительства. На стадии эксплуатации ЗСС представлен иной функционал – это комплекс мер по сохранению проектных характеристик элементов и инженерных систем ЗСС, а также, как указано на рис. 1, обеспечение их соответствующими коммунальными услугами – водоснабжением и водоотведением, тепло, газо-, электроснабжением, кондиционированием и вентиляцией, освещением, удалением твердых коммунальных отходов, работающими лифтами и эскалаторами, системами противопожарной автоматики и дымоудаления, организацией благо-

устройства и озеленения общественных пространств.

Из этого обстоятельства вытекает основное отличие строительной деятельности от эксплуатационной.

Строительство ОКС ведется на специально отведенных площадках, в соответствии с технической документацией, согласно утвержденному плану реализации проекта строительства.

Как эксплуатация осуществляется в ЗСС:

– «обремененные» наличием в них специального (профильного) оборудования, инвентаря, мебели, бытовой техники и присутствием людей;

– в отсутствии соответствующей технической документации (ввиду «древности» ЗСС или вовремя не переданной документации строительной компании, эксплуатирующей/управляющей организацией).

Основная задача эксплуатации, в соответствии с СП 255.1325800.2016, заключается в реализации комплекса мер, способных сделать ЗСС пригодным для целевого использования, включая обеспечение непрерывной и безопасной работы всех его элементов и инженерных систем (будь то жилое, офисное здание или промышленный объект), в том

числе с учетом временного или постоянного пребывания в них людей [4].

В этих условиях основным инструментом решения задач по организации эффективного функционирования ЗСС является «глубина» знаний и опыт специалистов, владение методами деловой коммуникации, а также спектром современных технологий и оборудованием для поиска и обнаружения неисправностей и дефектов в конструктивных элементах, инженерных системах и оборудовании ЗСС. Следует отметить, что данными компетенциями редко владеют не только директора школ, больниц, детских садов и пансионатов, спортивных залов и сооружений, торговых и развлекательных комплексов, и других объектов недвижимости, но и работники организаций, эксплуатирующие многоквартирные дома.

В ходе изучения особенностей деятельности руководителей и специалистов органов власти и организаций, занятых в сфере эксплуатации ЗСС, при их ротации, был отмечен недостаток знаний, необходимых для осуществления данного вида деятельности. Это обусловлено тем, что в профильных учреждениях образования отсутствует направление подготовки специалистов для жизненного цикла объекта недвижимости «эксплуатация», образовательные программы которых должны включать те новации, которые накапливаются годами и возникают в ходе многочисленных изменений нормативно-технических документов, судебной практики и практической деятельности в области эксплуатации ЗСС.

МЕТОДЫ

За основу обоснования особенностей деятельности по эксплуатации ЗСС принимается обеспечение безопасности функционирования зданий гражданского, общественного и производственного назначения, которое зависит от качества проектирования, методов организации строительства, монтажа изделий и оборудования, а также от условий их складирования, транспортировки, факторов окружающей среды и др.

На стадии проектирования, определяя расчетные нагрузки на конструкции, воздействие тепловых, радиационных и других факторов, проектировщик исходит из усредненных нормативов.

В реальных условиях фактические нагрузки и воздействие учитываемых факторов всегда отклоняются от принятых в проекте в большую или меньшую сторону [5].

В процессе изготовления деталей и строительных материалов, как бы точно не соблюдались методы технологии производственных

процессов, невозможно достигнуть того, чтобы при изготовлении каждой последующей детали или партии материалов эти условия полностью совпадали с прежними. Невозможно обеспечить одинаковые условия монтажа конструкций из-за разной квалификации и опыта рабочих, сменяющих друг друга на одной и той же захватке. Эти различия еще больше заметны на разных строительных объектах.

Условия строительства сопряжены с изменениями погодноклиматических условий, временем суток и другими факторами, способствующими неопределенности значений технических характеристик элементов и систем ОКС.

По этим причинам при введении ОКР в эксплуатацию его технические характеристики могут отличаться от проектных.

Условия эксплуатации могут отличаться от условий, которые принимались на стадии проектирования. Многие факторы, влияющие на срок службы конструкций, могут не учитываться при проектировании, т. к. возникают в связи с изменением окружающей среды, инженерно-геологических условий и т. п. На эксплуатационном этапе жизненного цикла ЗСС подвержены неблагоприятным воздействиям внутренних и внешних факторов, снижающих их проектные эксплуатационные показатели (рис. 2.). В отраслевой науке, для определения уровня воздействия этих факторов на элементы ЗСС и установки их предельных (допустимых) значений в период эксплуатации зданий и сооружений, введены параметры эксплуатационных качеств (ПЭК), которые соответствующим образом нормируются и используются при проектировании различных по назначению объектов недвижимости. Именно конкретные эксплуатационные качества отличают жилой комплекс от спортивно-оздоровительного, торгово-развлекательного центра или другого ЗСС. Перечень параметров и их нормативные или расчетные значения для каждого типа зданий устанавливаются проектом в зависимости от их назначения, материалов конструкций и других частных факторов. Общий перечень параметров и средств их контроля приведен в работах [6, 7].

В соответствии с действующими нормативно-техническими документами [8, 9] основным элементом организации эксплуатации ЗСС, наряду с обеспечением их набором коммунальных услуг, являются осмотры (плановые и внеплановые).

Их целью является оценка соответствия фактического технического состояния кон-

структивных элементов инженерных систем и общественных пространств требованиям законодательных и нормативно-технических документов для последующего принятия реше-

ний о планировании и проведении работ по техническому обслуживанию, содержанию, непредвиденному, аварийному, текущему и капитальному ремонту ЗСС.

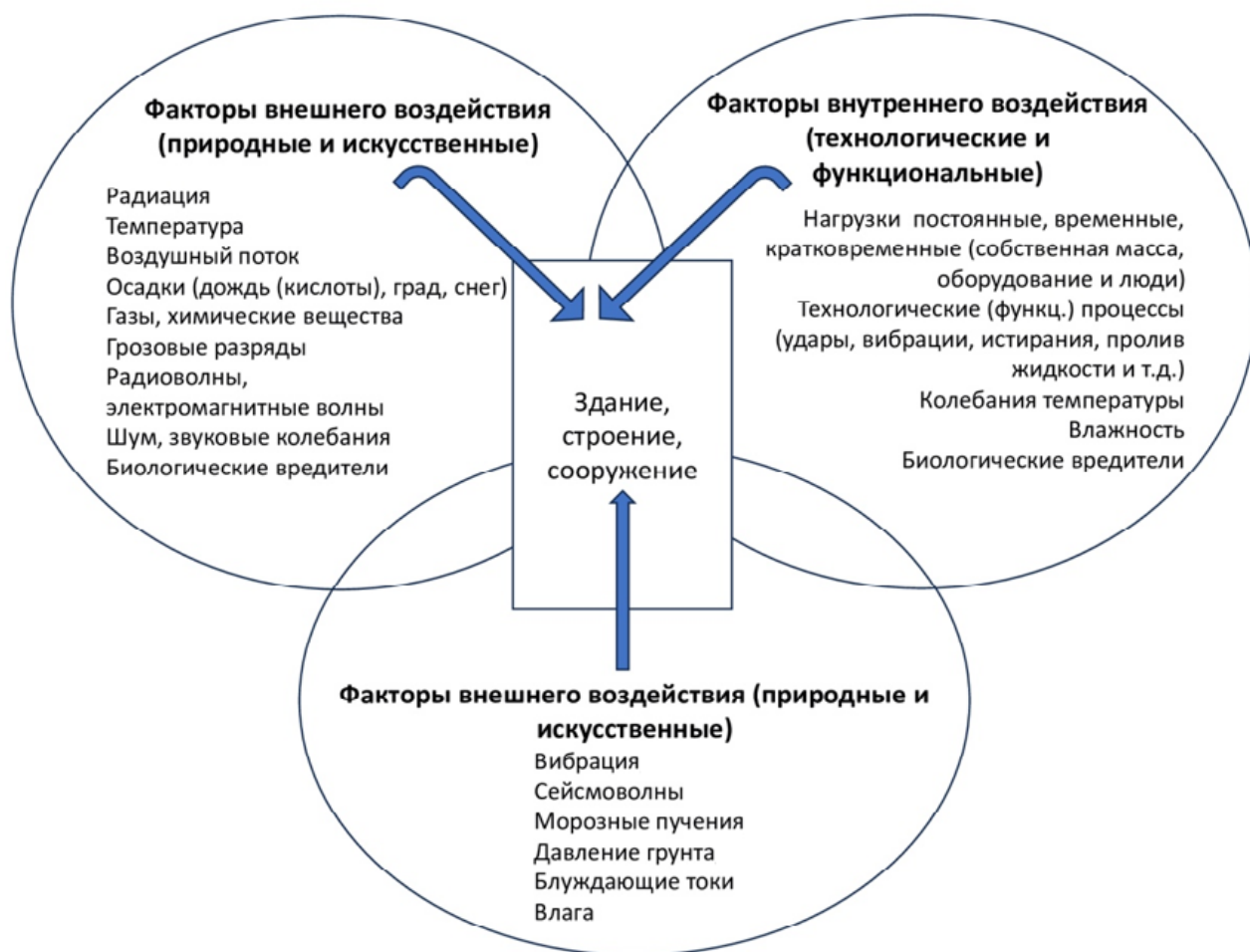


Рис. 2. Структура факторов, воздействующих на конструктивные элементы и инженерные системы объекта недвижимости

Fig. 2. Structure of factors affecting the structural elements and engineering systems of a real estate object

Следовательно, эксплуатация – сложная многофакторная задача, целью которой является создание комфортных (благоприятных, безопасных, включающих в себя и понятие экологической безопасности) условий для граждан [10, 11].

Проблемы экологической безопасности в помещениях гражданских зданий, отмеченные в исследованиях Центрального научно-исследовательского и проектного института жилых и общественных зданий и Федерального научного центра гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана [12–14], свидетельствуют о влиянии ее параметров на уровень комфорта и безопасности нахождения в них человека.

Следовательно, деловые коммуникации или разъяснение собственникам, арендаторам объектов недвижимости и квартировла-

дельцам особенностей пользования помещениями и инженерными системами ЗСС, отвечающих требованиям действующих технических регламентов, стандартов, правил и норм, государственных санитарно-эпидемиологических правил, нормативов и иных правовых актов, является неотъемлемой частью эксплуатации. Проведение этой повседневной и кропотливой работы связано с организацией документального оформления результатов осмотров и проведенных работ в установленных формах документов (фотографии, описи, акты, журналы, соответствующие информационные системы [15]), которые впоследствии позволят специалистам по эксплуатации проанализировать и умозрительно оценить состояние элементов и инженерных систем ЗСС и принять по ним соответствующее решение

для проведения плановых, внеплановых или аварийных работ.

В многоквартирных домах это должно быть согласовано на общем собрании квартировладельцев [16].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Одно только перечисление наименований строительных конструкций и инженерных систем здания, а также упоминание обилия нормативно-правовых документов, регламентирующих порядок, условия и последовательность деятельности по эксплуатации ЗСС, говорит о масштабах и глубине знаний навыков и умений, которыми должны обладать руководители, инженерно-технические работники и линейный персонал организаций, осуществляющих эксплуатацию зданий, строений и сооружений.

Исходя из этого, для инженерно-технического персонала организация процесса эксплуатации начинается с изучения результатов осмотров и оценки технического состояния зданий, строений и сооружений, на основе которых осуществляется:

- знакомство с исходными проектными и фактическими характеристиками, конструктивными особенностями, назначением элементов и систем ЗСС, режимами их работы;

- систематизация и классификация элементов и системы ЗСС по месту их нахождения, функциональному назначению и уровню влияния их технического состояния, на устойчивое и надежное функционирование ЗСС в целом;

- определение признаков, характеризующих работоспособность и исправность того или иного элемента или инженерной системы ЗСС;

- классификация факторов, влияющих на изменение (снижение) прочностных (механических), физико-химических, гидротехнических, эстетических и других характеристик элементов и инженерных систем ЗСС;

- технический учет и инвентаризация ЗСС;
- определение последствий, к которым приводит воздействие факторов, влияющих на изменение (снижение) прочностных (механических), физико-химических, гидротехнических, эстетических и других технических характеристик элементов и систем ЗСС;

- изучение физико-химических характеристик (свойств) отделочных и строительных материалов, возможности их использовании при ремонте (восстановлении) существующих конструктивных элементов, инженерных систем ЗСС. Эти знания необходимы, т. к. эксплуатация охватывает период 30+ лет, когда

ОКС создавались с использованием иных материалов, технологий и архитектурно-планировочных решений;

- выбор методов и технологий устранения дефектов и неисправностей, возникающих в процессе воздействия факторов, влияющих на изменение (снижение) прочностных (механических), физико-химических, гидротехнических, эстетических и других технических характеристик элементов и инженерных систем ЗСС;

- разработка планов технического обслуживания, содержания и ремонта строительных конструкций, инженерных систем и оборудования ЗСС, в том числе с использованием компьютерных программ и технологий;

- организация проведения и контроль выполнения работ по техническому обслуживанию, содержанию и ремонту строительных конструкций, инженерных систем и оборудования ЗСС, гарантирующих своевременную и бесперебойную поставку коммунальных услуг.

Это обусловлено тем, что коммунальные ресурсы, которые производят ресурсоснабжающие организации, «превращаются» в услугу.

Пользователям помещений в гражданских зданиях неизвестны причины неработающей котельной, не вывезенных твердых коммунальных отходов, аварий на водоводе или на линии электропередач. Человек сетует на отсутствие тепла, воды, электроэнергии или на их параметры и режим предоставления, на отсутствие комфорта и безопасности нахождения в помещении [17].

Исходя из этого, эксплуатация ЗСС охватывает широкий спектр задач, начиная от технического обслуживания и заканчивая стратегическим планированием, и играет ключевую роль в поддержании функциональности и безопасности гражданских и промышленных зданий, строений и сооружений.

Таким образом, в организационном плане в процессе эксплуатации осуществляется не только мониторинг текущего состояния конструктивных элементов, инженерных систем и оборудования ЗСС, но и решаются административные задачи по прогнозированию и планированию ремонтных и восстановительных работ, контролю их качества и своевременного исполнения [18].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Деятельность по эксплуатации осуществляется с соблюдения норм безопасности и требует взаимодействия с представителями смежных областей деятельности, таких как тепло- и электроэнергетика, природопользо-

вание и природообустройство, техносферная безопасность, ландшафтный дизайн и других инженерные дисциплины.

Специалист по эксплуатации должен не только владеть знаниями в этих сферах деятельности, но и быть способным интегрировать их в современные инженерно-технические и ремонтно-строительные решения на эксплуатационном этапе жизненного цикла ЗСС. От такого специалиста требуется выстраивание грамотной коммуникации (деловых контактов, горизонтальных связей) со специалистами смежных (родственных) отраслей деятельности, умение решать насущные производственные и спорные вопросы путем прямых переговоров, выяснения взаимных позиций, выработки и принятия взвешенных решений возникающих проблем, устраивающих обе стороны, в том числе с привлечением представителей органов исполнительной власти муниципального или регионального уровня.

Установление такой взаимосвязи позволит организовать и осуществить эксплуатацию ЗСС с минимальным проявлением аварийности – выстроить эффективную систему планово-предупредительных ремонтов, отказавшись от выполнения аварийных работ.

Только для обеспечения профессиональной (грамотной, надежной, эффективной) эксплуатации жилищного фонда сегодня требуется более 30 тыс. специалистов, владеющих такими компетенциями.

Для абитуриентов, планирующих осуществлять инженерную деятельность в сфере городского хозяйства, необходима образовательная программа «Эксплуатация зданий, строений, сооружений» с присвоением выпускникам квалификации инженер по эксплуатации зданий, строений, сооружений [19].

В образовательную программу должны быть включены дисциплины, отражающие специфику эксплуатационной деятельности и дающие студентам знания, касающиеся:

- правовых основ эксплуатации ЗСС, включая основы Гражданского, Градостроительного, Земельного и Жилищного законодательства;
- организации и технологии осуществления эксплуатации ЗСС;
- стандартизации и управления качеством эксплуатации ЗСС;
- основ технического учета и инвентаризаций ЗСС;
- методов определения прочностных (механических), физико-химических, гидротехнических, эстетических и других технических характеристик элементов и инженерных систем ЗСС;
- форм имущественных и договорных отношений, обеспечивающих целевое использование и эффективное функционирование ЗСС, а также порядок их реализации;
- экономики эксплуатации ЗСС;
- технологии деловых коммуникаций и методы разрешения споров;
- разработки и управления инвестиционными проектами воспроизводства ЗСС;
- информационных систем в городском хозяйстве и формы их взаимодействия;
- экологии помещений жилых и общественных зданий.

В настоящее время большинство требований к знаниям, навыкам и умениям работников, занятых в сфере эксплуатации ЗСС, приведены в профессиональных стандартах.

Подготовка профильных специалистов с таким набором компетенций является перспективным направлением развития инженерно-технического образования, которое позволит не только индексировать данный вид деятельности, наполнив рынок труда соответствующими специалистами, но и обеспечит повышение требования к квалификации линейного персонала, осуществляющего эксплуатацию ЗСС, что в конечном счете повысит надежность и качество их функционирования и целевого использования [20].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Lewis A., Brooks B. Fundamentals of Building Operation, Maintenance and Management: I-P/SI Spi Edition. USA: Amer Society of Heating, 2021. 264 p.
2. Xiaojian Guo, Huan Hu Strategy of BIM Building Operation and Maintenance Management Based on LV-EG Model // Mathematical Problems in Engineering. 2020. Vol. 1. P. 1–13. <https://doi.org/10.1155/2020/4130564>.
3. Шрейбер К.А. Возведение и эксплуатация зданий и сооружений. Концептуальные подходы. М.: Издательство АСВ, 2023. 120 с.
4. Корабельникова Ю.Л. Обеспечение безопасности человека в городе: современное состояние, проблемы и перспективы. М.: Издательство «КноРус», 2024. 220 с.
5. Лапидус А.А., Степаев П.А. Исследование факторов, влияющих на формирование бюджета проекта на этапах жизненного цикла объекта капитального строительства // Строительное производство. 2024. № 2. С. 3–8. https://doi.org/10.54950/26585340_2024_2_3. EDN: YVOEJT.

6. Артюшкин О.В., Плотникова Т.Н., Самойленко С.В. Многокомпонентная модель структуры эксплуатационных показателей качества жилых зданий // Вестник Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова. 2021. № 1 (35). С. 28–35. EDN: UTCSRI.
7. Гнам П.А. Анализ методик технического обследования объектов с целью определения их физического износа // Alfabuild. 2019. № 4 (11). С. 7–22. EDN: RQVYXK.
8. Трухачева Г.А., Скоблицкая Ю.А. Архитектура многоэтажных жилых комплексов. Организация обслуживания. Ростов-на-Дону; Таганрог: Южный федеральный университет, 2018. 188 с. EDN: ZBRALB.
9. Максимов А.Е. Основы технической эксплуатации зданий и сооружений. М.: Инфра-Инженерия, 2024. 196 с.
10. Jing Li, Weisheng Lu, Yi Peng, Hongping Yuan, Daikun Wang Proceedings of the 27th International Symposium on Advancement of Construction Management and Real Estate (Lecture Notes in Operations Research). German: Springer, 2023. 1832 p.
11. Abd-el-Baki M. Project Management and Construction Operations Manual – Volume 2. USA: Independently Published, 2019. 582 p.
12. March C. Operations Management for Construction. England: Routledge, 2009. 224 p.
13. Кийко Е., Алексеева Н. Среда обитания человека изменилась: российские ученые – о видеоэкологии и ее практическом применении // RT на русском. 2023. Режим доступа: <https://ru.rt.com/p7pw> (дата обращения: 25.11.2024).
14. Айзимова И.М. Экология жилища // Научные труды ИМП РАН. 2019. С. 436–456. https://doi.org/10.29003/m829.sp_ief_ras2019/436-456.
15. Дмитриев А.Н., Ресин В.И., Гурьев В.В. Формирование динамической эксплуатационной модели для получения единого электронного паспорта здания на платформе «Цифрового двойника» и задачи развития ЦИМ // Современные проблемы управления проектами в инвестиционно-строительной сфере и природопользовании: материалы XIII Междунар. науч.-практ. конф. (г. Москва, 14 апреля 2023 г.). М., 2023. С. 12–19. EDN: ZJAQVV.
16. Чернышов Л.Н. Социально-психологические проблемы управления многоквартирными домами // ЖКХ-эксперт. 2023. № 8. С. 10–15.
17. Чмышенко Е.Г. Формирование клиентоориентированной модели управления жилищно-коммунальными услугами в регионе: монография. Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2019. 162 с.
18. Пилипенко В.М., Захаренко А.В. Структурно-функциональное моделирование надежности жилых зданий // Жилищное строительство. 2019. № 10. С. 24–31. <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-10-24-31>. EDN: PFMDNW.
19. Борисова Н.И., Ключин В.В., Моисеенко Е.С. К вопросу о проблемах развития рынка труда и профессий в строительстве и ЖКХ // Вестник Евразийской науки. 2021. Т. 13. № 6. С. 1–10. EDN: VHDHPE.
20. Чернышов Л.Н., Ивчик Т.А., Колгушкин А.Г. Особенности функционирования многоквартирных зданий на эксплуатационном этапе жизненного цикла // Экономика строительства. 2024. № 9. С. 343–347. EDN: APJGKC.

REFERENCES

1. Lewis A., Brooks B. *Fundamentals of Building Operation, Maintenance and Management: I-P/SI Spi Edition*. USA: Amer Society of Heating, 2021. 264 p.
2. Xiaojian Guo, Huan Hu Strategy of BIM Building Operation and Maintenance Management Based on LV-EG Model. *Mathematical Problems in Engineering*. 2020;1:1-13. <https://doi.org/10.1155/2020/4130564>.
3. Shreiber K.A. *Construction and Operation of Buildings and Structures. Conceptual Approaches*. Moscow: ASV Publishing House, 2023. 120 p. (In Russ.).
4. Korabel'nikova Yu.L. *Ensuring Human Safety in The City: Current Status, Problems, And Prospects*. Moscow: Knorus Publishing House, 2024. 220 p. (In Russ.).
5. Lapidus A.A., Stepaev P.A. Research Factors That Influence On the Formation of the Project Budget at The Stages of the Life Cycle of a Capital Construction Project. *Construction Production*. 2024;2:3-8. (In Russ.). https://doi.org/10.54950/26585340_2024_2_3. EDN: YVOEJT.
6. Artyushkin O.V., Plotnikova T.N., Samoylenko S.V. Multicomponent Model of Operational Quality Indicators Structure for Residential Buildings. *Vestnik Khakasskogo gosudarstvennogo universiteta im. N.F. Katanova*. 2021;1(35):28-35. (In Russ.). EDN: UTCSRI.
7. Gnam P.A. Analysis of Methodologies for Technical Inspection of Buildings to Determine Their Physical Wear. *Alfabuild*. 2019;4(11):7-22. (In Russ.). EDN: RQVYXK.

8. Trukhacheva G.A., Skoblitskaya Yu.A. *Architecture of Multi-Storey Residential Complexes. Organization of Services*. Rostov-on-Don; Taganrog: Southern Federal University, 2018. 188 p. (In Russ.). EDN: ZBRALB.
9. Maksimov A.E. *Fundamentals of Technical Operation of Buildings and Structures*. Moscow: Infra-Engineering, 2024. 196 p. (In Russ.).
10. Jing Li, Weisheng Lu, Yi Peng, Hongping Yuan, Daikun Wang *Proceedings of the 27th International Symposium on Advancement of Construction Management and Real Estate (Lecture Notes in Operations Research)*. German: Springer, 2023. 1832 p.
11. Abd-el-Baki M. *Project Management and Construction Operations Manual – Volume 2*. USA: Independently Published, 2019. 582 p.
12. March C. *Operations Management for Construction*. England: Routledge, 2009. 224 p.
13. Kiiko E., Alekseeva N. The Human Habitat Has Changed: Russian Scientists On Videoecology and Its Practical Applications. *RT in Russian*. Available from: <https://ru.rt.com/p7pw> [Accessed 25th November 2024]. (In Russ.).
14. Aizimova I.M. Ecology of Home. *Nauchnye trudy INP RAN*. 2019:436-456. (In Russ.). https://doi.org/10.29003/m829.sp_ief_ras2019/436-456.
15. Dmitriev A.N., Resin V.I., Guriev V.V. Formation of A Dynamic Operational Model for Obtaining a Single Electronic Passport of a Building On the Platform of The "Digital Twin" and The Objectives of Dim Development. In: *Modern Problems of Project Management in The Investment and Construction Sphere and Environmental Management: Materials of The XIII International Scientific and Practical Conference*. 14 April 2023, Moscow. Moscow; 2023. p. 12–19. (In Russ.). EDN: ZJAQVV.
16. Chernyshov L.N. Social and Psychological Problems of Apartment Building Management. *ZhKKh-ekspert*. 2023;8:10-15. (In Russ.).
17. Chmyshenko E.G. *Formation of A Customer-Oriented Model of Housing and Communal Services Management in The Region: Monograph*. Orenburg: Orenburg State University, 2019. 162 p. (In Russ.).
18. Pilipenko V.M., Zaharenko A.V. Structural and Functional Modeling of Residential Buildings Reliability. *Housing Construction*. 2019;10:24-31. (In Russ.). <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-10-24-31>. EDN: PFMDNW.
19. Borisova N.I., Klyushin V.V., Moiseenko E.S. On The Issue of the Problems of the Development of the Labor Market and Professions in Construction and Housing. *The Eurasian Scientific Journal*. 2021;13(6):1-10. (In Russ.). EDN: VHDHPE.
20. Chernyshov L.N., Ivchik T.A., Kalgushkin A.G. Specific of Functioning of the Apartment Buildings at The Operational Life Cycle Stage. *Construction Economy*. 2024;9:343-347. (In Russ.). EDN: APJGKC.

Информация об авторах**Чернышов Леонид Николаевич,**

д.э.н., профессор,
профессор кафедры жилищно-коммунального
комплекса,
Национальный исследовательский Московский
государственный строительный университет,
129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26,
Россия,
✉e-mail: leo.chern@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0007-1758-9498>
Author ID: 473278

Смолина Лидия Филипповна,

к.э.н., доцент кафедры
жилищно-коммунального комплекса,
Национальный исследовательский Московский
государственный строительный университет,
129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26,
Россия,
e-mail: smolinaLF@mail.com
<https://orcid.org/0009-0004-9195-309X>
Author ID: 1250820

Information about the authors**Leonid N. Chernyshov,**

Dr. Sci. (Econ.), Professor,
Professor of the Department
of Housing and Public Utilities,
National Research Moscow State University
of Civil Engineering,
26 Yaroslavskoe Hwy., Moscow 129337,
Russia,
✉e-mail: leo.chern@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0007-1758-9498>
Author ID: 473278

Lidiya F. Smolina,

Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor
of the Department of Housing and Public Utilities,
National Research Moscow State University
of Civil Engineering,
26 Yaroslavskoe Hwy., Moscow 129337,
Russia,
e-mail: smolinaLF@mail.com
<https://orcid.org/0009-0004-9195-309X>
Author ID: 1250820

Калгушкин Алексей Григорьевич,
заместитель начальника управления
благоустройства администрации городского
округа Балашиха, Московской области,
143900, г. Балашиха, пр. Ленина, д. 11, Россия,
аспирант,
Национальный исследовательский Московский
государственный строительный университет
129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26,
Россия,
e-mail: aleksey@kalgushkin.ru
<https://orcid.org/0009-0008-1211-6007>

Alexey G. Kalgushkin,
Deputy Head of the Department of Public Works
of the Administration of the Urban District
of Balashikha, Moscow Region,
11 Lenin Ave., Balashikha 143900, Russia,
Postgraduate Student,
National Research Moscow State University
of Civil Engineering,
26 Yaroslavskoe Hwy., Moscow 129337,
Russia,
e-mail: aleksey@kalgushkin.ru
<https://orcid.org/0009-0008-1211-6007>

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад
в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regard-
ing 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 29.07.2024.
Одобрена после рецензирования 23.08.2024.
Принята к публикации 26.08.2024.

Information about the article

The article was submitted 29.07.2024.
Approved after reviewing 23.08.2024.
Accepted for publication 26.08.2024.

**Градостроительные предпосылки развития туристско-рекреационного потенциала Иркутской области****Д.В. Бобрышев^{1✉}, В.В. Усачева²**^{1,2}Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Аннотация. В статье рассмотрены основные подходы к формированию региональных туристско-рекреационных систем в градостроительной теории и практике. Целью работы является изучение градостроительных предпосылок территориально-пространственного развития туризма в Иркутской области. Задачи исследования включают в себя обобщение теоретических принципов организации туризма в градостроительстве, выявление системообразующих факторов в развитии туристско-рекреационных систем регионального уровня, определение территориально-пространственных предпосылок развития туризма на основе исследования туристического и рекреационного потенциалов Иркутской области. В работе проведено методологическое обобщение основ туристско-рекреационной деятельности в рамках территориально-планировочной и функционально-типологической моделей градостроительного анализа с выявлением факторов и оценочных показателей устойчивого развития пространственной структуры туризма как подсистемы регионального расселения. Проведен обзор отечественной градостроительной практики планирования и реализации концепций региональных туристических систем. Результатом работы является анализ территориальной организации туризма и отдыха в Иркутской области на основе ландшафтно-топологического контекста, ресурсного потенциала территории и сложившегося каркаса расселения. Представлены принципиальные подходы к градостроительной организации туристско-рекреационной системы Иркутской области в части формирования планировочной структуры каркаса как иерархически соподчиненной системы главных, второстепенных и вспомогательных осей на основе транспортного, историко-культурного и природно-ресурсного контекстов. Дано предложение по организации внекаркасных (зональных) элементов системы с формированием ядер развития туризма и охраны природы на основе особо охраняемых природных территорий федерального, регионального и местного значения.

Ключевые слова: туризм, рекреация, территориально-системная организация, Иркутская область, региональные туристско-рекреационные системы

Для цитирования: Бобрышев Д.В., Усачева В.В. Градостроительные предпосылки развития туристско-рекреационного потенциала Иркутской области // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 4. С. 797–809. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-4-797-809>. EDN: BLNKXN.

Original article**Urban planning preconditions for the development of tourist and recreational potential of the Irkutsk region****Dmitriy V. Bobryshev^{1✉}, Valeria V. Usacheva²**^{1,2}Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. The paper examines the fundamental approaches to the formation of regional tourist and recreational systems within urban planning theory and practice. To explore the urban planning preconditions for the territorial and spatial development of tourism in the Irkutsk region. The objectives include summarizing the theoretical principles of tourism organization in urban planning, identifying systemic factors in the development of regional tourist and recreational systems, and determining the territorial

and spatial preconditions for tourism development based on an analysis of the tourist and recreational potentials of the Irkutsk region. The study provides a methodological synthesis of the foundations of tourist and recreational activities within the frameworks of territorial planning and functional-typological models of urban planning analysis, highlighting factors and evaluation indicators for the sustainable development of the spatial structure of tourism as a subsystem of regional settlement. The paper reviews the Russian practice of planning and implementing the concepts of regional tourism systems. The territorial organization of tourism and recreation in the Irkutsk region is analyzed in terms of a landscape-topological context, resource potential, and the established settlement framework. The fundamental approaches to the urban planning organization of the tourist and recreation system of the Irkutsk region are presented in terms of the planning structure of the framework as a hierarchically subordinate system of the main, secondary and auxiliary axes based on transport, historical-cultural and natural-resource contexts. The paper introduces a proposal for organizing extra-framework (zonal) elements of the system, establishing the background for tourism development and nature conservation based on strict nature reserves of federal, regional, and local significance.

Keywords: tourism, recreation, territorial and systemic organization, Irkutsk region, assessment factors

For citation: Bobryshev D.V., Usacheva V.V. Urban planning preconditions for the development of tourist and recreational potential of the Irkutsk region. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(4):797-809. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-4-797-809>. EDN: BLNKXN.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время туризм имеет большое значение для экономики многих стран. Он способствует созданию рабочих мест, повышению привлекательности и узнаваемости регионов, стимулирует социально-экономическое развитие территории.

В 2022 г. доля валовой добавленной стоимости туристической индустрии в России, согласно информации Росстата, составила 2,6 % от общего объема валового внутреннего продукта страны. Для сравнения: в Испании сфера туризма обеспечила более 12 %, в Канаде – около 13 %, а Хорватия, где доля туризма составила 18,8 %, заняла первое место¹.

Туризм является важной физической и духовной составляющей жизнедеятельности человека, включающей в себя как отдых от повседневной деятельности, так и формирование мировоззрения, расширения кругозора, познания окружающего мира, изучения жизни, истории, культуры, обычаев народов России и других стран.

Важнейшими элементами в организации туристических систем любого уровня являются ресурсный потенциал территории и сложившаяся структура расселения. Они определяют опорные элементы развития, перспективы и характер территориальной дифференциации рекреационной деятельности. Иркутская область обладает многообразным природным

и историко-культурным потенциалом для развития индустрии отдыха и туризма, который в перспективе может существенно повысить социально-экономическое развитие региона.

Целью данной работы является изучение градостроительных предпосылок территориально-пространственного развития туристско-рекреационной системы Иркутской области.

Задачи исследования:

- изучение теоретических основ территориально-системной организации туризма в градостроительной теории и практике;
- выявление системообразующих факторов в развитии туристско-рекреационных систем регионального уровня;
- определение территориально-пространственных предпосылок в развитии туризма на основе исследования рекреационного потенциала Иркутской области.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование в области территориальной организации туризма является одной из основных задач современного градостроительства, тесно связанной с разработкой и согласованием ключевых аспектов социально-экономического развития регионов. Туризм как экономическая отрасль входит в стратегии, программы и проекты регионального развития, схемы территориального планирования субъектов Российской Федерации и др. [1].

Методология данного исследования строится на основании территориально-

¹Статистика туризма // Федеральная служба государственной статистики (Росстат). Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/statistics/turizm> (дата обращения: 15.09.2024).

системного подхода к изучению расселения, топологических исследований в области формирования туристско-рекреационных систем и их элементов, а также функционально-типологической модели классификации ресурсов и организации градостроительных объектов.

Региональная туристско-рекреационная система в данном исследовании рассматривается как типологическая подсистема расселения, обладающая относительной автономностью и использующая общие и специализированные ресурсы для своего формирования и развития [2, 3].

Основной смысл территориально-системных исследований в градостроительстве заключается в изучении взаимодействия элементов системы, выявлении связей между системами различных территориальных уровней, а также определении меры связанности градостроительных образований между собой. Одним из основных результатов данного типа исследований является выявление иерархии и сбалансированности развития территориальных систем [2].

В градостроительных исследованиях сложился подход к моделированию территориальных рекреационных систем, включающий инфраструктурный и зональный методы организации с выявлением каркасных структур (коридоров интенсивного развития), укрупненных зон экстенсивной рекреации и природоохраны. В основу методов положены исследования ресурсного потенциала территории и распределение рекреационных потоков в зависимости от ландшафтно-географических и градостроительных условий расселения [4–7]. В территориально-системном подходе выделяются топологические исследования, которые изучают свойства рекреационных мест, сформированные уникальными пространственными характеристиками природных и антропогенных ландшафтов, определяющими привлекательность территории для посещения (аттрактивность, узнаваемость, целостность, связанность и др.) [8–11].

Типологические описания в градостроительстве направлены на классификацию типов ресурсов и градостроительных систем одного территориального уровня с целью выявления характерных черт функционально-планировочной организации объектов, свойственных для тех или иных видов туристической деятельности. Типологические класси-

фикации туристических и рекреационных объектов достаточно хорошо проработаны в теоретических и прикладных исследованиях видов деятельности, отдельных функций и их различных сочетаниях [12, 13]. Туристическая сфера как экономическая подсистема регионального расселения подчиняется экономическим закономерностям развития, где одним из основополагающих механизмов повышения рекреационного потенциала и увеличения конкурентоспособности территорий, является формирование кластеров. В последние десятилетия он рассматривается как один из главных факторов развития регионов, а те территориальные образования, в которых складываются кластеры, становятся лидерами экономического роста.

Региональный туристический кластер представляет собой совокупность туристических объектов, инфраструктуры и услуг, которые развиваются на основе градостроительных принципов для создания привлекательной рекреационной среды [14, 15]. Ключевым условием его развития является сбалансированное сочетание ресурсов и инфраструктуры, создающих туристический продукт (туристические маршруты) [16].

Основные свойства и компоненты региональных туристических кластеров представлены на рис. 1.

Важным фактором развития прикладных аспектов теории градостроительства является реализация стратегий и схем регионального планирования, с решением задач организации туристической деятельности.

В данном исследовании рассмотрены некоторые проекты, представляющие собой практику реализации системного подхода в организации региональных туристических систем.

Проект «Пермь Великая»² представляет собой совместные усилия регионального правительства, туристического информационного центра и профессионального сообщества Пермского края по территориально-системной организации туризма.

Суть проекта заключается в комплексной стратегии региона по предоставлению разнообразных возможностей использования культурно-познавательных ресурсов и развитию как уникальных рекреационных видов деятельности (речные сплавы, круизы), так и других форм активного отдыха, способствующих внедрению здорового образа жизни.

²Пермский край – официальный сайт туристического портала // Пермь Великая. Режим доступа: <https://visitperm.ru/> (дата обращения: 15.09.2024).



Рис. 1. Свойства и компоненты туристического кластера
Fig. 1. Properties and components of the tourism cluster

Реализация проекта «Русь Новгородская» осуществляется совместными усилиями правительства Новгородской области, центра развития туризма «Красная изба» и некоммерческих объединений. Специфика проекта заключается в том, что потенциальным посетителям предлагается несколько значимых туристических направлений земли Новгородской. Каждое из них обладает своей уникальной привлекательностью, одновременно являясь ключевой точкой туризма.

В совокупности они составляют территориальную туристско-рекреационную систему региона³. Подобный подход применен во Владимирской области, где акцент делается не только на Владимиро-Суздальском музее-заповеднике и «Золотом кольце», но и на множестве других городов, которые представляют интерес для туристов из различных регионов [17].

Примером системного подхода на уровне разработки схем территориального планирования может выступать Республика Дагестан.

В данном проекте применен кластерный подход, который включает в себя деление территории на пять кластерных структур, сформированных на основе туристических

активов региона.

Каждая структура направлена на определенный вид туризма, где основополагающими системными элементами организации являются точки притяжения и их доступность⁴.

В зависимости от развитости туристско-рекреационной деятельности и выбранных стратегических векторов социально-экономического развития территории, туристическая отрасль может выступать в качестве профилирующей, сопутствующей или реабилитационной функции региона в целом или составляющих его административно-территориальных образований⁵.

Анализ территории Иркутской области показал, что туризм осуществляет сопутствующую функцию. При этом в Прибайкальской части региона отрасль законодательно и организационно смещается в область профилирующей функции. В староосвоенной центральной части (главным образом вдоль «Транссиба») закрепляется в качестве сопутствующей отрасли. В остальной части региона туризм слабо развит и, при условии его включения в отраслевую структуру расселения, может выполнять реабилитационную функцию в экономике.

³Туристический портал Новгородской области // Русь Новгородская. Режим доступа: <https://novgorod.travel/> (дата обращения: 15.09.2024).

⁴Кузьмина Е.Г., Корабинских М.В., Воронова О.З., Чельцова Н.В., Мачульская О.В., Соколова О.Г. [и др.] Научно-исследовательская работа «Разработка схемы территориального планирования Республики Дагестан, региональных нормативов градостроительного проектирования». Материалы по обоснованию». М.: ОАО Российский институт градостроительства и инвестиционного развития «ГИПРОГОР», 2021. 282 с.

⁵Кружалин В.И., МIRONENKO Н.С., Зигерн-Корн Н.В., Шабалина Н.В. География туризма: учебник. М.: Федеральное агентство по туризму, 2014. 336 с.

В настоящее время Иркутская область стабильно занимает высокие места в списке туристических регионов и самых востребованных направлений иностранными туристами в России.

Регион обладает обширным набором рекреационных ресурсов: 57 природных объектов, обладающих научным, историческим, эстетическим и культурным значением, признаны памятниками природы.

На данный момент выявлено около 30 видов лечебных вод и грязей, включая редкие по составу, не имеющие аналогов в России. Регион также входит в число 28 субъектов Российской Федерации, где проживают коренные малочисленные народы: тофалары и эвенки⁶.

Область играет ключевую роль в структуре межрегиональных транспортных связей, которые обеспечивают трансконтинентальное взаимодействие по Транссибирской и Байкало-Амурской железнодорожным магистралям, а также по федеральным автомобильным трассам «Сибирь» и «Байкал».

Прилегающие к ним административные районы (Нижнеудинский, Тулунский, Куйтунский, Зиминский, Заларинский, Черемховский и Усольский) обладают высоким уровнем обеспеченности транспортной инфраструктурой и эффективной связью с областным центром. В северных районах (Катангском, Киренском, Мамско-Чуйском и Бодайбинском) наземный транспорт слабо развит и взаимосвязь осуществляется преимущественно воздушными и водными сообщениями, что во многом замедляет их социально-экономическое развитие.

Прибайкалье – уникальный горный регион с разнообразными ландшафтами, представляющий большой интерес для отечественных и зарубежных туристов.

Особой привлекательностью пользуются Ольхонский, Слюдянский, Иркутский и Нижнеудинский районы, в которых сосредоточено большинство уникальных природных достопримечательностей.

В настоящее время наибольший интерес у посетителей вызывает знакомство с уникальной природой о. Байкал и национальными традициями народов, проживающих на территории области⁷.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

На основании методологических исследований в работе был проведен синтез ключевых градостроительных факторов, обеспечивающих устойчивое развитие туристических подсистем в структуре сложившихся природно-антропогенных комплексов расселения. Основные результаты систематизации представляют собой иерархически и типологически организованную классификацию признаков сформированности туристско-рекреационной системы в рамках территориально-системной и типологической моделей градостроительных исследований. Основные результаты представлены на рис. 2 и в таблице.

Анализ закономерностей в распределении туризма в Иркутской области показывает наличие двух групп кластерных структур, зависящих от определенных типов ресурсов. Одна группа представлена видами туристической деятельности, тяготеющими к антропогенным общим и специализированным ресурсам (культурным, спортивным, оздоровительным, научным, жилым и другим объектам и ландшафтам), привязанным к развитым транспортным системам и сформировавшимся рекреационным потокам. Различную степень привлекательности таким объектам добавляет аттрактивность окружающих природно-антропогенных комплексов.

Главным фактором в формировании этих кластеров являются комфортные условия путешествия и отдыха.

Другую группу кластеров формирует неорганизованный самобытный или «дикий» туризм, где в основу положен принцип отказа от комфортных условий и специализированных услуг с использованием преимущественно общей инфраструктуры (дорог общего пользования).

По некоторым статистическим данным эта группа может составлять более 70 % от общего числа отдыхающих [18]. Самобытный отдых слабо поддается учету, однако основные цели этой группы хорошо изучены (охота, рыбная ловля, собирательство, познание окружающего мира и самопознание). Данные кластеры тяготеют к малоосвоенным природным ресурсам и формируют зональную структуру в слабодоступных территориях.

⁶Охрана окружающей среды. Особо охраняемые природные территории // Министерство природных ресурсов и экологии Иркутской области. Режим доступа: <https://irkobl.ru/sites/ecology/working/ohrana/oopt/> (дата обращения: 15.09.2024.).

⁷Внесение изменений в схему территориального планирования Иркутской области. Материалы по обоснованию. Иркутск: ОГБУ «Центр компетенций», 2023.

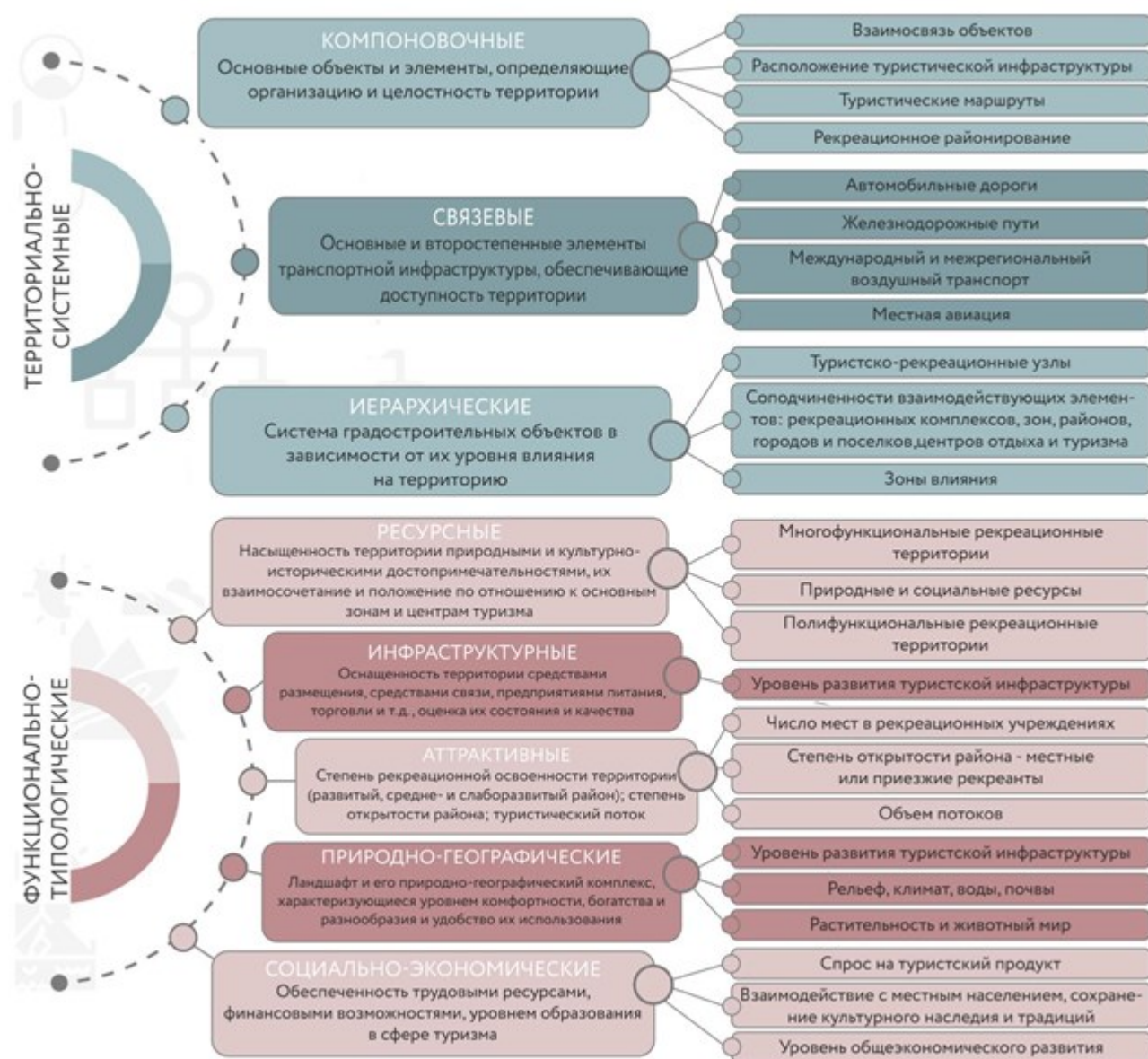


Рис. 2. Факторы оценки территориально-системной организации регионального туризма
Fig. 2. Factors for assessing the territorial and systemic organization of regional tourism

Анализ территории показывает крайне неравномерное развитие туристско-рекреационной структуры.

С одной стороны, это связано со сложившейся системой расселения, сформировавшейся на основе Транссибирской и Байкало-Амурской расселенческих осей, где развились местные рекреационные зоны вокруг крупных городов. Очень слабое развитие меридианальных транспортных связей и низкая плотность расселения вдоль них делает большинство территорий области малодоступными для массового посещения.

С другой стороны, такому развитию способствует ландшафтно-топологическая струк-

тура территории, в которой крупные аттрактивные элементы, оз. Байкал и горные системы, смещены в южную часть. Высокая туристическая привлекательность горных ландшафтов, помимо инфраструктурных коридоров, формирует зональные элементы туризма, развивающиеся в слабодоступных местностях Восточно-Саянских гор (Тофалария), в районах Приморского и Байкальского хребтов (заповедное Прибайкалье), Станового и Патомского нагорий (Витимский заповедник) [19].

Основой для организации планового системного развития туризма в области является формирование каркасной структуры – туристической сети.

Факторы оценки территориально-системной организации регионального туризма
 Assessment factors of the territorial and systemic organization of regional tourism

Наименование фактора оценки	Описание
Территориально-системные	
Компоновочные	Основные объекты и элементы, определяющие организацию и целостность территории
Связевые	Основные и второстепенные элементы транспортной инфраструктуры, обеспечивающие доступность территории
Иерархические	Система градостроительных объектов в зависимости от их уровня влияния на территорию
Функционально-типологические	
Ресурсные	Насыщенность территории природными и культурно-историческими достопримечательностями, их взаимосочетание и положение по отношению к основным зонам и центрам туризма. Разделение районов по принципу преобладающих рекреационных функций
Инфраструктурные	Оснащенность территории средствами размещения и связи, предприятиями питания, торговли и т. д., оценка их состояния и качества
Аттрактивные	Туристическая и рекреационная привлекательность территорий может определяться степенью их рекреационной освоенности (развитый, средне- и слабо развитый район), плотностью туристических потоков
Природно-географические	Основные компоненты: рельеф, климат, воды, почвы, растительность и животный мир, характеризующие уровень комфортности, богатства, разнообразия и удобства их использования, а также эстетические качества места
Социально-экономические	Основные факторы, воздействующие на региональный туризм посредством демографических и социальных изменений: спрос на туристский продукт, взаимодействие с местным населением, сохранение культуры и традиций, уровень общеэкономического развития

Состав этой сети можно охарактеризовать следующим образом (рис. 3):

– главная ось развивается вдоль Транссибирской железнодорожной магистрали, которая обладает наиболее широким набором специальных, общих и вспомогательных инфраструктурных элементов туризма;

– второстепенные оси обладают достаточной транспортной обеспеченностью, но слабой туристско-рекреационной инфраструктурой, имеющей перспективы развития в прилегающих к магистралям зонах;

– вспомогательные оси, в общем случае – направления, которые сформировались или могут быть развиты на основе тупиковых транспортных коридоров (наземных, воздушных и водных).

В качестве функционально-типологической основы развития каркасов на передний план выступают культурно-исторические аспекты в сочетании с ландшафтными комплексами, где

главным ресурсом является историко-культурное наследие (все типы культурных ландшафтов)⁸.

На данный момент в Иркутской области существует целый ряд международных, межрегиональных, региональных проектов и концепций по развитию туристической отрасли. В градостроительном отношении они нацелены на инфраструктурное развитие существующих осей расселения и включают задачи интеграции историко-культурного и природного потенциалов региона в туристические структуры разных уровней. В целом это более 29 действующих и проектируемых маршрутов, к которым относятся «Великий чайный путь», «Байкал-Хубсугул», «Байкал-Аляска», «Восточное кольцо России», «Золотое кольцо Сибири», «Маршрутами Великой Северной экспедиции», «Сибирский тракт», «Байкало-Ленские столбы», «Ангарский треугольник» и т. д.

⁸Постановление Законодательного Собрания Иркутской области. Об утверждении стратегии социально-экономического развития Иркутской области на период до 2036 года.

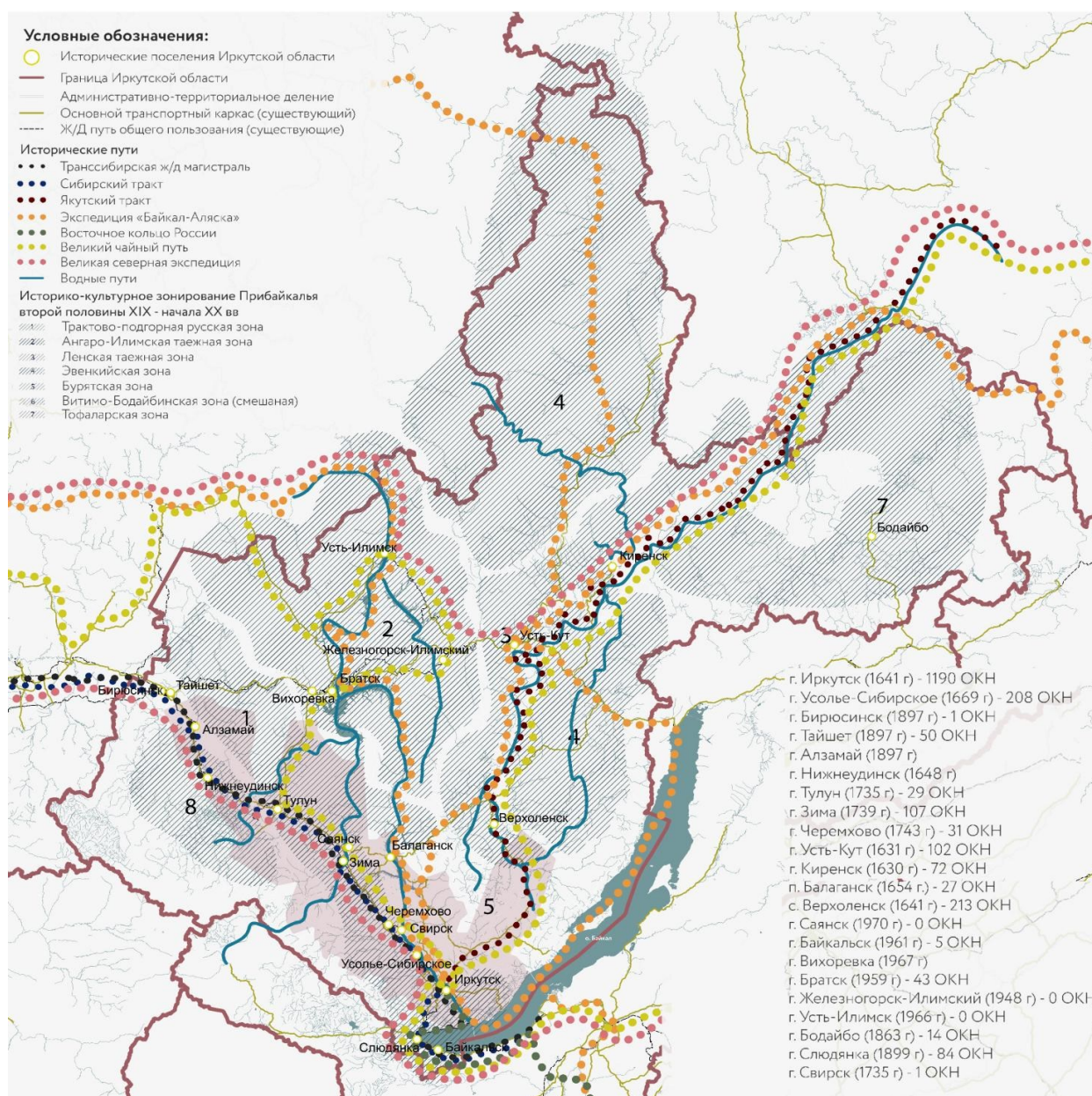


Рис. 3. Принципы формирования опорного каркаса туризма на основе интеграции историко-культурного и расселенческого каркасов Иркутской области
Fig. 3. The principles of forming the supporting framework of tourism based on the integration of the historical, cultural and settlement frameworks of the Irkutsk region

Большое внимание уделяется раскрытию исторических и культурных аспектов формирования расселения в различные периоды становления Иркутской области, а также системообразующей роли в этом сухопутных путей (с разными названиями и трассировками, например, Сибирский тракт, Екатерининский тракт, Московский тракт и др.).

Ключевое значение в этих работах придается способам интеграции исторических путей в современную структуру туризма (рис. 3) [20, 21]. В рамках инфраструктурного развития

туристско-рекреационного каркаса региона может быть предложено развитие практически всех типов туристических кластеров на главных и второстепенных осях (культурно-познавательного, активного, лечебно-оздоровительного, событийного, сельского, делового, этнографического, рекреационного и образовательного) и специализированных кластеров на вспомогательных осях (этнотуризм, научно-образовательный, спортивный, главным образом экстремальный и др.) (рис. 4).

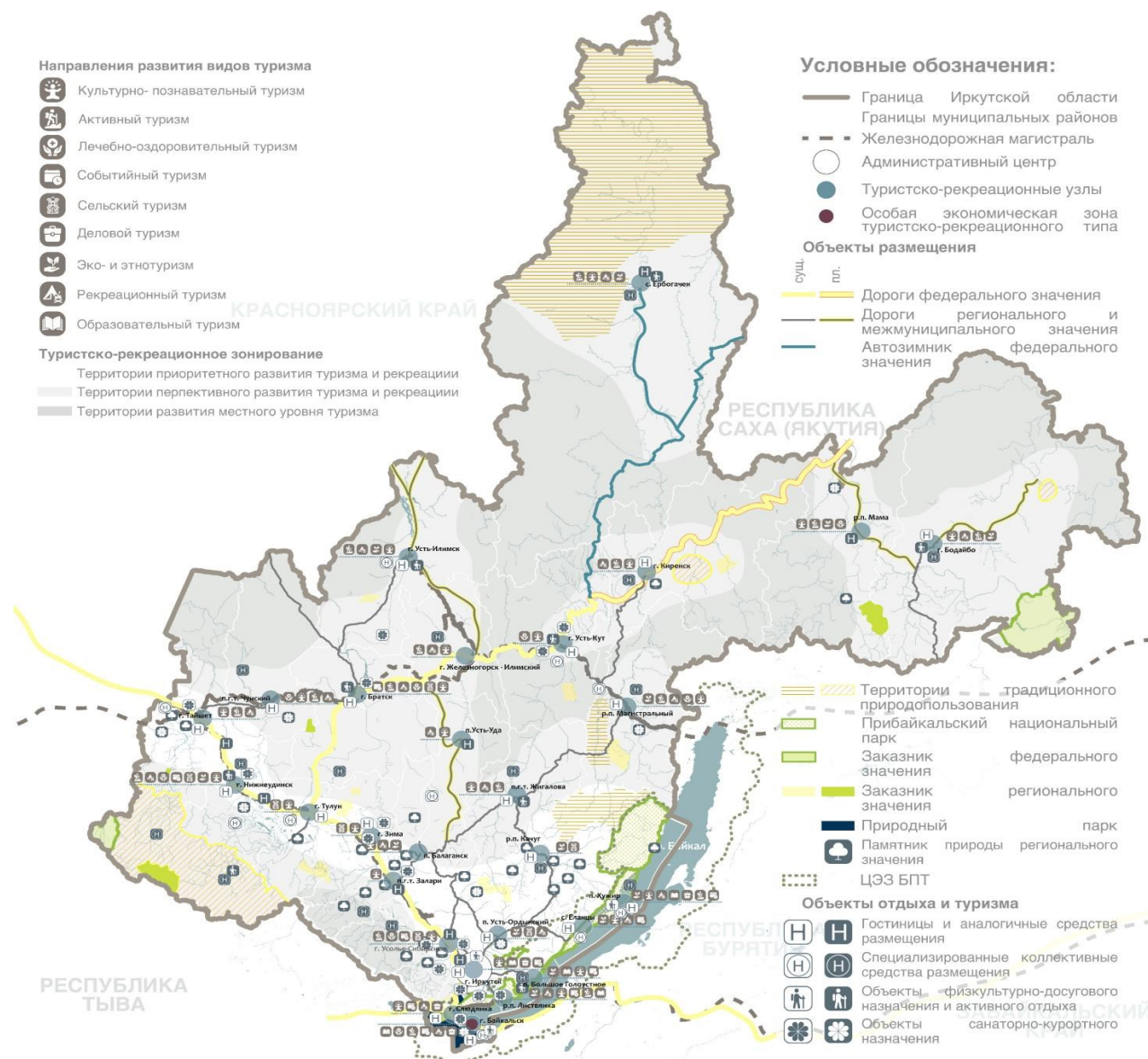


Рис. 4. Предпосылки к развитию туристических кластеров на территории Иркутской области

Fig. 4. Prerequisites for the development of tourism clusters in the Irkutsk region

К системообразующим элементам, в рамках регионального планирования, следует также отнести внекарасную (зональную) форму организации рекреации и туризма, основу которой составляют особо охраняемые природные территории (ООПТ) различного уровня [22]. Такая сеть позволяет системно подходить к организации туристско-рекреационных потоков за рамками инфраструктурных коридоров.

В функционально-типологическом отношении это важнейшие планировочные ядра, в которых закрепляются природоохранные, научно-образовательные, эколого-

просветительские функции. Развитие сети ООПТ способствует сохранению сложившихся рекреационных и туристических мест. В региональном отношении к таким территориям относятся природные парки, заказники, памятники природы, организация которых становится важной задачей в формировании рекреационно-туристической системы региона⁹.

На территории Иркутской области в настоящее время насчитывается пять ООПТ федерального значения — два заповедника, один национальный парк и два заказника. 70 ООПТ регионального значения — 13 заказников, 57 памятников природы (рис. 5).

⁹Федеральный закон «Об особо охраняемых природных территориях» от 14.03.1995 № 33-ФЗ (последняя редакция).

Основная часть сформирована для поддержания уникальности горных ландшафтов Прибайкалья.

Также существует множество реликтовых таежных местностей, уникальных речных долинных комплексов, этнокультурных ландшафтов за пределами сложившихся природо-

охраненных ареалов, в которых необходимо регулировать туристическую и рекреационную деятельность, обеспечивать охрану природы. Формирование этих ядер также будет способствовать развитию дополнительных географических направлений туристической деятельности в регионе.

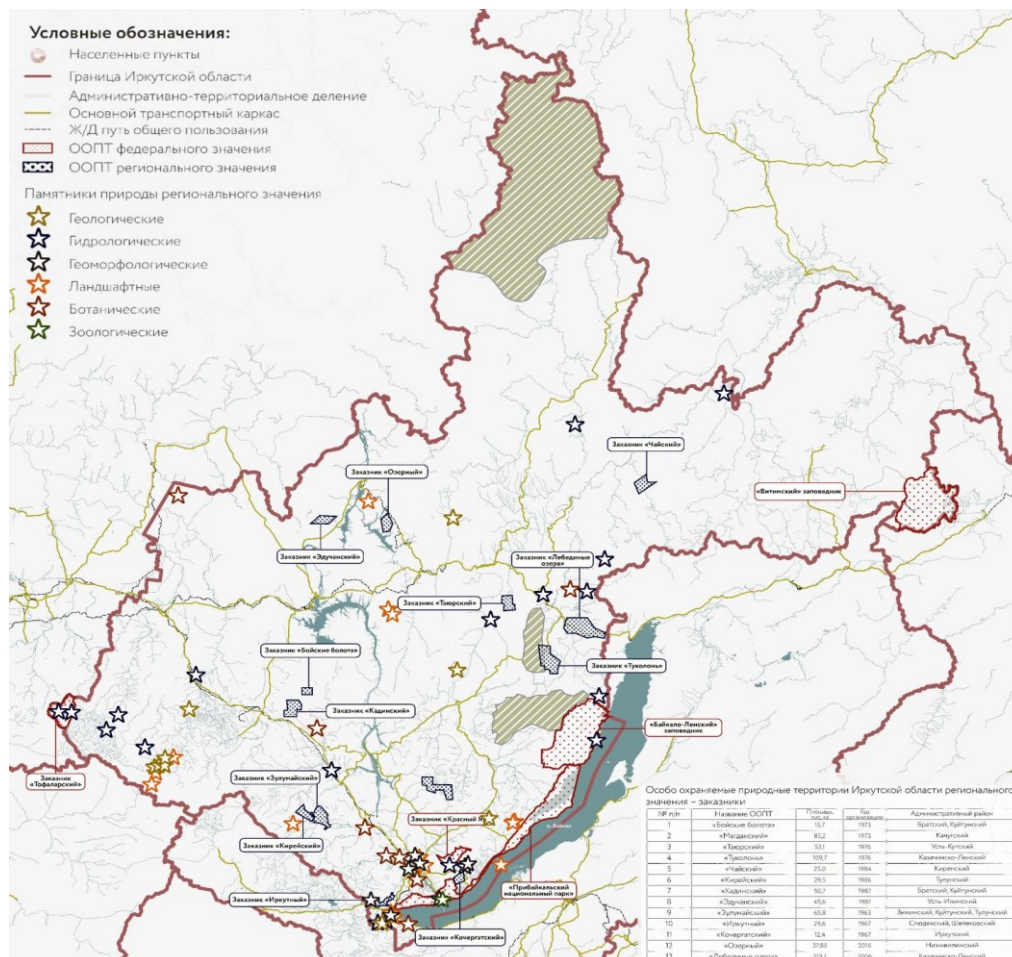


Рис. 5. Существующая структура особо охраняемых природных территорий Иркутской области

Fig. 5. The existing structure of specially protected natural territories of the Irkutsk region

ВЫВОДЫ

В проведенном исследовании изучен территориально-системный подход и модели исследования градостроительных объектов в приложении к туристско-рекреационным системам регионального уровня организации.

Рассмотрены системообразующие факторы, определяющие характер развития рекреационных и туристических систем в зависимости от территориально-пространственной структуры рекреационных мест в сложившейся системе расселения и характера рекреационных ресурсов территории. В работе изучены предпосылки пространственного развития ту-

ризма и отдыха в Иркутской области, основу которых составляют действующие и перспективные каркасные элементы расселения (транспортные и историко-культурные оси, населенные пункты, туристические маршруты), формирующие туристско-рекреационный каркас региона, а также перспективы развития внекаркасных (зональных) элементов системы на основе особо охраняемых природных территорий, основной планировочный смысл которых заключается в образовании ядер экологического туризма и рекреации, эколого-образовательной и природоохранной деятельности в регионе.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Максанова Л.Б.Ж., Санжеев Э.Д., Будаева Д.Г. Территориальная организация туристско-рекреационной деятельности на региональном уровне: теоретические и практические аспекты // Вестник Сибирского государственного университета геосистем и технологий. 2017. Т. 22. № 3. С. 128–146. EDN: ZHICKH.
2. Яргина З.Н. Градостроительный анализ. М.: Стройиздат, 1984. 245 с.
3. Крашенинников А.В. Топология и структура городской среды // Наука, образование и экспериментальное проектирование. Труды МАРХИ: Материалы междунар. науч.-практ. конф. (г. Москва, 04–08 апреля 2016 г.). М., 2016. С. 300–303. EDN: YALMZF.
4. Владимиров В.В., Наймарк Н.И., Субботин Г.В., Лейзерович Е.Е., Хохлов А.С., Баркова Е.А. [и др.] Районная планировка. М.: Стройиздат, 1986. 325 с.
5. Хромов Ю.Б. Организация систем отдыха, туризма и охрана природной среды на Севере. Ленинград: Стройиздат, 1981. 184 с.
6. Бобрышев Д.В., Усачева В.В. Градостроительные факторы устойчивого развития территориальной рекреационной системы Нижнеудинского района Иркутской области // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 1. С. 161–171. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-1-161-171>. EDN: BSCRBX.
7. Pratt S. Potential Economic Contribution of Regional Tourism Development in China: A Comparative Analysis // International Journal of Tourism Research. 2015. Vol. 17. Iss. 3. P. 303–312. <https://doi.org/10.1002/jtr.1990>.
8. Большаков А.Г. Ландшафтно-градостроительный подход к проблемам туристического освоения Байкала // Архитектура и строительство России. 2017. № 1. С. 45–52. EDN: YMVHMX.
9. Козлов В.В., Хромешкин В.М., Шагдуров А.А. Ландшафтно-эстетическая оценка прибрежных территорий отдыха в котловине озера Байкал // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2014. № 2 (85). С. 134–144. EDN: RXAAZJ.
10. Ek R., Tesfahuney M. Topologies of Tourism Enclaves // Tourism Geographies. 2019. Vol. 21. Iss. 5. P. 864–880. <https://doi.org/10.1080/14616688.2019.1663910>.
11. Stoffelen A., Timothy D.J. Bordering, Ordering and Othering Through Tourism: The Tourism Geographies of Borders // Tourism Geographies. 2023. Vol. 25. Iss. 8. P. 1974–1992. <https://doi.org/10.1080/14616688.2023.2291818>.
12. Новикова В.И. Составляющие территориальной рекреационной системы: определение, классификация // Псковский регионологический журнал. 2013. № 16. С. 133–150. EDN: QCVNNT.
13. Gjorgievski M., Kozuharov S., Nakovski D. 2013. Tipology of Recreational-Tourism Resources as an Important Element of the Tourist Offer // UTMS Journal of Economics. 2013. Vol. 4. Iss. 1. P. 53–60.
14. Перькова М.В., Большакова А.Г. Теоретическая модель развития региональной системы расселения // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. № 1. С. 105–111. <https://doi.org/10.12737/24093>. EDN: XHLEMH.
15. Щербина Е.В., Нгуен Т.К. Методические подходы развития туризма на принципах устойчивого развития // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2022. № 6. С. 83–93. <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2022-7-6-83-93>. EDN: NKMCUA.
16. Тарасова Ю.И., Киншт А.В. Кластер как структурная единица территориально-пространственной организации среды в России // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. Т. 20. № 6. С. 66–74. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2018-20-6-66-74>. EDN: VPEYFU.
17. Новиков В.Г., Савченко Е.А. Системный подход к разработке и реализации региональных туристических проектов // Географическая среда и живые системы. 2020. № 3. С. 112–127. <https://doi.org/10.18384/2712-7621-2020-3-112-127>. EDN: ICWAKY.
18. Пономаренко Е.А., Солодянина С.В. Рекреационная деятельность в Приольхонье и на острове Ольхон. Иркутск: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2015. 112 с. EDN: TDFITH.
19. Юванен Е.И., Шмидт Ю.Д. Оценка рекреационно-туристской привлекательности территории // Практический маркетинг. 2006. № 10. С. 23–27. EDN: JXDAXV.
20. Пуляевская Е.В. Территориальное планирование и управление системой сельского расселения Восточной Сибири XIX – начала XX вв. // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 4. С. 624–638. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-624-638>. EDN: VSDQEZ.
21. Соколова И.А., Соснин Д.Е., Реховская Е.А., Пуляевская Е.В. Сибирский тракт: проект-концепция туристического маршрута на основе комплексной оценки территории // Градостроительство: теория,

практика, образование. Материалы V Всеросс. науч.-практ. конф. (г. Иркутск, 18–19 апреля 2023 г.). Иркутск, 2023. С. 99–106. EDN: HLSZEO.

22. Trišić I., Štetić S., Maksin M. The Significance of Protected Natural Areas for Tourism in The Vojvodina Province (Northern Serbia) – Analysis of Sustainable Tourism Development // *Spatium*. 2020. Iss. 43. P. 1–7. <https://doi.org/10.2298/SPAT2043001T>.

REFERENCES

1. Maksanova L.B.Zh., Sanzheev E.D., Budaeva D.G. Territorial Organization of Tourism and Recreation Activities at The Regional Level: Theoretical and Practical Aspects. *Vestnik of the Siberian State University of Geosystems and Technologies*. 2017;22(3):128-146. (In Russ.). EDN: ZHICKH.
2. Yargina Z.N. *Urban Planning Analysis*. Moscow: Stroyizdat, 1984. 245 p. (In Russ.).
3. Krashenninikov A.V. Topology and Structure of Built Environment. In: *Nauka, obrazovanie i eksperimental'noe proektirovanie. Trudy MARKH: Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Science, Education and Experimental Design. Proceedings of MARCHI: Materials of The International Scientific and Practical Conference*. 04–08 April 2016, Moscow. Moscow; 2016. p. 300–303. (In Russ.). EDN: YALMZF.
4. Vladimirov V.V., Naimark N.I., Subbotin G.V., Leizerovich E.E., Khokhlov A.S., Barkova E.A. [et al.] *Regional Planning*. Moscow: Stroyizdat, 1986. 325 p. (In Russ.).
5. Khromov Yu.B. *Organization of Recreation Systems, Tourism and Environmental Protection in The North*. Leningrad: Stroyizdat, 1981. 184 p. (In Russ.).
6. Bobryshev D.V., Usacheva V.V. Urban Planning Factors in Sustainable Development of the Territorial Recreational System in Nizhneudinsky District of Irkutsk Oblast. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(1):161-171. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-1-161-171>. EDN: BSCRBX.
7. Pratt S. Potential Economic Contribution of Regional Tourism Development in China: A Comparative Analysis. *International Journal of Tourism Research*. 2015;17(3):303-312. <https://doi.org/10.1002/jtr.1990>.
8. Bolshakov A.G. Landscape Regional Planning Approach to Baikal Tourism Development Challenges. *Architecture and Construction of Russia*. 2017;1:45-52. (In Russ.). EDN: YMVHMX.
9. Kozlov V.V., Khromeshkin V.M., Shagdurov A.A. Landscape and Aesthetic Evaluation of Coastal Recreation Areas in The Lake Baikal Depression. *Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2014;2(85):134-144. (In Russ.). EDN: RXAAZJ.
10. Ek R., Tesfahuney M. Topologies of Tourism Enclaves. *Tourism Geographies*. 2019;21(5):864-880. <https://doi.org/10.1080/14616688.2019.1663910>.
11. Stoffelen A., Timothy D.J. Bordering, Ordering and Othering Through Tourism: The Tourism Geographies of Borders. *Tourism Geographies*. 2023;25(8):1974-1992. <https://doi.org/10.1080/14616688.2023.2291818>.
12. Novikova V.I. Components of Territorial Recreation System: The Definition and Classification. *Pskov Journal of Regional Studies*. 2013;16:133-150. (In Russ.). EDN: QCVNNT.
13. Gjorgievski M., Kozuharov S., Nakovski D. 2013. Tipology of Recreational-Tourism Resources as an Important Element of the Tourist Offer. *UTMS Journal of Economics*. 2013;4(1): 53-60.
14. Perkova M.V., Bolshakov A.G. Theoretical Model of Regional Development Settlement System. *Bulletin of Belgorod State Technological University Named After V.G. Shukhov*. 2017;1:105-111. (In Russ.). <https://doi.org/10.12737/24093>. EDN: XHLEMH.
15. Scherbina E.V., Nguyen T.C. Methodological Approaches to The Development of Tourist Territories Based On the Principles of Sustainable Development. *Bulletin of Belgorod State Technological University Named After V.G. Shukhov*. 2022;6:83-93. (In Russ.). <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2022-7-6-83-93>. EDN: NKMCUA.
16. Tarasova Yu.I., Kinsht A.V. Cluster as A Structural Unit of Territory Spatial Organization in Russia. *Journal of Construction and Architecture*. 2018;20(6):66-74. (In Russ.). <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2018-20-6-66-74>. EDN: VPEYFU.
17. Novikov V.G., Savchenko E.A. System Approach to The Development and Implementation of Regional Tourist Projects. *Geographical Environment and Living Systems*. 2020;3:112-127. (In Russ.). <https://doi.org/10.18384/2712-7621-2020-3-112-127>. EDN: ICWAKY.
18. Ponomarenko E.A., Solodyanina S.V. *Recreational Activities in The Olkhon Region and On Olkhon Island*. Irkutsk: Irkutsk State Agrarian University named after. A.A. Ezhevsky, 2015. 112 p. (In Russ.). EDN: TDFITH.
19. Yuvan E.I., Shmidt Yu.D. Assessment of The Recreational and Tourist Attractiveness of the Territory. *Practical Marketing*. 2006;10:23-27. (In Russ.). EDN: JXDAXV.

20. Pulyaevskaia E.V. Regional Planning and Management of Rural Settlements in Eastern Siberia in 19th – Early 20th Centuries. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(4):624-638. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-624-638>. EDN: VSDQEZ.
21. Sokolova I.A., Sosnin D.E., Rekhovskaya E.A., Pulyaevskaya E.V. Siberian Highway: Project-Concept of A Tourist Route Based On a Comprehensive Assessment of the Territory. In: *Gradostroitel'stvo: teoriya, praktika, obrazovanie. Materialy V Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Urban Planning: Theory, Practice, Education. Materials of The V All-Russian Scientific and Practical Conference*. 18–19 April 2023, Irkutsk. Irkutsk; 2023. p. 99–106. (In Russ.). EDN: HLSZEO.
22. Trišić I., Štetić S., Maksin M. The Significance of Protected Natural Areas for Tourism in The Vojvodina Province (Northern Serbia) – Analysis of Sustainable Tourism Development. *Spatium*. 2020;43:1-7. <https://doi.org/10.2298/SPAT2043001T>.

Информация об авторах

Бобрышев Дмитрий Валерьевич,
кандидат архитектуры,
доцент, доцент кафедры архитектуры
и градостроительства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
✉e-mail: dbobryshev12@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0003-0509-3149>
Author ID: 688622

Усачева Валерия Вадимовна,
магистрант,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: lera.gabitova.00@bk.ru
<http://orcid.org/0009-0005-8648-0109>
Author ID: 1221738

Information about the authors

Dmitriy V. Bobryshev,
Cand. of Architecture,
Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Architecture and Urban Planning,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
✉e-mail: dbobryshev12@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0003-0509-3149>
Author ID: 688622

Valeria V. Usacheva,
Master Degree Student,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,
Russia,
e-mail: lera.gabitova.00@bk.ru
<http://orcid.org/0009-0005-8648-0109>
Author ID: 1221738

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 02.09.2024.
Одобрена после рецензирования 20.09.2024.
Принята к публикации 23.09.2024.

Information about the article

The article was submitted 02.09.2024.
Approved after reviewing 20.09.2024.
Accepted for publication 23.09.2024.



Динамика архитектурно-градостроительного формирования Южного Прибайкалья

О.И. Саландаева^{1,2✉}, Е.В. Пуляевская²

¹Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия

²Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Аннотация. Комплексное исследование архитектурно-градостроительного развития территории Южного Прибайкалья в контексте определяющей концептуальной роли природного каркаса и исторически сложившихся транзитных торговых путей было проведено с целью выявления традиционных и инновационных возможностей преобразования и оптимизации селитебных территорий, определения их формообразующих тенденций в уникальных природно-климатических условиях. Работа основывается на исследованиях определенных градостроительных факторов многокомпонентной дискретной динамической системы территории, в том числе взаимодействия деятельности населения и природно-климатических условий в рамках исторического развития территории Слюдянского района Иркутской области. Был исследован опыт развития зарубежных прибрежных территорий. Опыт развития Прибайкальских территорий изучен и дифференцирован по следующим направлениям: типология природно-планировочного каркаса, типология транспортного каркаса, типологические аспекты существующей застройки, тенденции развития деловых программ, тенденции преобразования прибрежных территорий. Факторы организации территориально-пространственной системы обусловлены исторически сложившимися транзитными торговыми путями в структуре природного каркаса Прибайкалья. Актуализация современных подходов использования территорий в современных социально-экономических условиях с одной стороны, сохранение и рекультивация природных условий с другой – являются основой повышения качества архитектуры перспективной застройки, а также повышения устойчивости застройки в сейсмических условиях.

Ключевые слова: градостроительство, архитектура зданий, историографический анализ, прибрежные территории, геосистема, сейсмичность

Для цитирования: Саландаева О.И., Пуляевская Е.В. Динамика архитектурно-градостроительного формирования Южного Прибайкалья // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 4. С. 810–822. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-4-810-822>. EDN: PEDAXH.

Original article

Dynamics of architectural and urban development of the Southern Baikal region

Olga I. Salandaeva^{1,2✉}, Evgeniia V. Puliaevskaia²

¹Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russia

²Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. The present comprehensive study investigates the architectural and urban development of the Southern Baikal region, focusing on the defining conceptual role of the natural framework and historically established transit trade routes. The study is aimed at identifying traditional and innovative opportunities for transforming and optimizing residential areas, as well as at determining their formative trends under unique natural and climatic conditions. The paper is based on the analysis of specific urban planning factors within a multi-component discrete dynamic system of the territory, including the

interaction between human activities and natural-climatic conditions throughout the historical development of the Slyudyansky District in Irkutsk Oblast. The study examines the experience of developing foreign coastal territories. The experience of Baikal territories has been studied and differentiated in the following areas: typology of natural-planning framework, typology of transport framework, typological aspects of existing development, trends in business programs, tendencies in the transformation of coastal territories. The factors of territorial-spatial system organization are determined by historically established transit trade routes in the structure of the natural framework of the Baikal region. The relevance of contemporary approaches to land use under current socio-economic conditions and the preservation and reclamation of natural conditions serve as the foundation for enhancing the quality of architecture of prospective developments and improving the structural stability under seismic conditions.

Keywords: urban planning, building architecture, historiographic analysis, coastal areas, geosystem, seismicity

For citation: Salandaeva O.I., Puliaevskaia E.V. Dynamics of architectural and urban development of the Southern Baikal region. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(4):810-822. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-4-810-822>. EDN: PEDAXH.

ВВЕДЕНИЕ

Общепринятые (типичные) преобразования территорий обусловлены демографическими изменениями, экономическими стратегиями и социальными трансформациями. Мировая практика развития конца XX – начала XXI в. свидетельствует о росте урбанизации прибрежных территорий, вплоть до изменения береговых линий, как наиболее привлекательных для многих видов деятельности. Наблюдается тенденция динамики территорий, в том числе природных пляжей, не только посредством природных проявлений, но и преобразованием прибрежных ландшафтов при функциональном развитии территорий, что может привести к вертикальным (оседание) и горизонтальным движениям деформации суши [1–5]. Неконтролируемое увеличение антропогенных нагрузок повышает риски уязвимости прибрежных территорий и акваторий водоемов, что может привести к нарушениям положительного баланса взаимодействия природы и человека. Это может запустить необратимые процессы и повлиять на изменение климата. Освоение территорий Южного Прибайкалья имеет характерный исторический опыт. Изначально антропогенные воздействия не оказывали негативного влияния на компоненты природного каркаса. Дальнейшее развитие территорий, а именно создание промышленного комплекса, транспортных коммуникаций и энергетических предприятий оказало значительное воздействие на данный природный комплекс [5–10]. В структуре градоформирующих факторов территории Южного Прибайкалья приоритетным является фактор «места», который включает в себя: уникальные природные объекты,

памятники истории, архитектуры и инженерные сооружения, которые обладают правомочными качествами быть знаковым ориентиром дальнейшего архитектурного градоформирования данных территорий. Для достижения положительного развития сценария преобразования прибрежных территорий Южного Прибайкалья и повышения качественных параметров архитектурных формообразующих тенденций и архитектурной среды были исследованы основные составляющие компоненты, определяющие качественные параметры градоформирования территорий, такие как структура природного каркаса, исторический опыт развития территории и актуальные факторы современного развития [10–14].

МЕТОДЫ

Методы исследования представлены концептуальным подходом к территориально-пространственному развитию. Основываясь на оценках отечественного и зарубежного опыта развития прибрежных территорий и градостроительных объектов, имеющих особые природоохранные требования, был использован метод градостроительного и ландшафтно-визуального анализа. Были рассмотрены объемно-планировочные решения и градостроительные композиции. Историкографический анализ был проведен с помощью выявленной картографии, научных источников и натурных исследований при грантовой поддержке Русского географического общества. Эксклюзивный формат использования градостроительных объектов основан на многокритериальном анализе составляющих компонентов геосистемы и прогнозируемых результатов архитектурного формообразования. В данной работе обобщен опыт формирования

опорных поселений в системе расселения Южного Прибайкалья в контексте актуальных трансформаций с одной стороны и исторического вектора с другой, под влиянием антропогенных нагрузок на ландшафты. При исследовании существующей архитектурной среды прибрежных территорий использован метод городского анализа.

В работе использованы данные авторов, полученные при исследовании, научные изыскания Института земной коры СО РАН и актуальные материалы Слюдянского муниципального образования с 2018 по 2023 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Аналитические исследования архитектурно-градостроительного формирования территорий, расположенных в зонах влияния крупных водоемов и специфических ландшафтов, направлены прежде всего на выявление ха-

рактера архитектурных стилистических направлений, интегрированных в природный ландшафт. Один из древнейших городов Испании, г. Ронда, муниципалитет провинции Малага в Андалусии, с населением около 40 тыс. чел. (площадь 481,31 км²), расположен на скалистом плато и демонстрирует ярко выраженную архитектуру, интегрированную в ландшафт (рис. 1).

В XX в. он вошел в очередной этап развития посредством строительства сети проселочных дорог, автотрасс и железной дороги, что придало импульс для сооружения усовершенствованной системы питьевого водоснабжения и строительству театра «Эспинель».

Пространственные архитектурные городские комплексы, интегрированные в ландшафт, характерны для знаковых территорий.

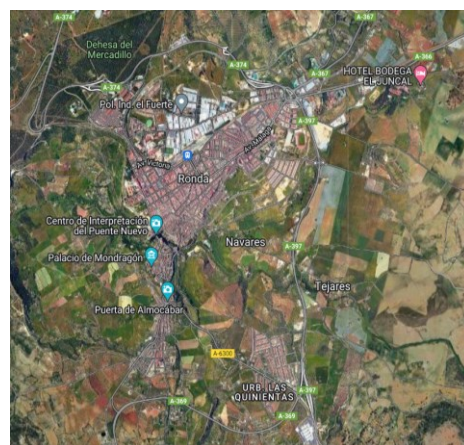
**a****b****c****d**

Рис. 1. Архитектура, интегрированная в ландшафт – г. Ронда (Испания):

a – ситуационный план; b – план города; c, d – общий вид застройки

Fig. 1. Architecture integrated into the landscape – Ronda (Spain): a – situational plan; b – city plan; c, d – general view of the building

Планировочная структура древнего г. Анси (Аннеси), расположенного на Востоке Франции, с населением 131 тыс. чел., сформировалась на северном побережье озера Анси.

Через город протекает канал Тью, который соединяет озеро с рекой Фьер. Он окружен горами Верье, Семноз, Торнет и Пармелан. Архитектурными акцентами являются Сред-

невековый замок, церковь Святого Петра и Островной дворец. оселение Атрани, провинция Салерно (Италия), расположено на побережье Тирренского моря на территории, где до извержения вулкана Везувий раньше были римские виллы. 24 сентября 1343 г. было разрушено морской бурей. Поселение расположено непосредственно по береговой линии на скалистой местности и имеет плотную непрерывную застройку. В настоящее время оно остается рыбацкой деревней и одним из привлекательнейших туристических мест.

На скалистом острове Фолегандрос в Греции расположены города Хора (Фолегандрос),

Каравостаси и Ано-Мериа, которые связаны между собой автомобильными дорогами. Внешние транспортные связи осуществляются по морским путям. Характерным для горных территорий является затрудненное ведение сельского хозяйства. Как и в большинстве небольших городов Европы развит туристический бизнес. На Лофотенских островах в Норвегии в фюльке Нурланн расположен населенный пункт (рыбацкая деревня) Рейне с населением 342 чел. и развитой туристической деятельностью. Климат, благодаря течению Гольфстрим, мягче климата характерного для мест этой широты (рис. 2).



a



b



c



d

Рис. 2. Архитектура, интегрированная в ландшафт: а – г. Анси (Аннеси) (Франция); б – п. Атрани (Италия); с – о. Фолегандрос (Греция); д – п. Рейне (Норвегия)
Fig. 2. Architecture integrated into the landscape: a – Annecy (Annecy) (France); b – Atrani (Italy); c – Folegandros (Greece); g – Reine (Norway)

Особенности планировочных решений и архитектурного облика градостроительных объектов Южного Прибайкалья исследованы в границах Слюдянского района Иркутской области (630,1 тыс. га, т. е. 0,8 % территории Иркутской области). Учитываются взаимодей-

ствия таких компонентов геосистемы, как природно-климатические условия, культурное и историческое наследие и современная деловая активность населения. Муниципальное образование Слюдянский район включает в себя восемь муниципальных образований:

Быстринское, Маритуйское, Новоснежинское, Портбайкальское, Утуликское (сельские поселения), Байкальское, Култукское, Слюдянское (городские поселения). В их числе два города районного подчинения – г. Слюдянка (районный центр) и г. Байкальск (рис. 3).

Граничит с Усольским, Шелеховским, Иркутским районами и Республикой Бурятия

(Тункинским и Кабанским районами). Численность населения составляет 39 418 чел. на 2023 г. Динамика численности населения за период с 2018 по 2023 г. имеет стабильный характер с незначительным уменьшением, в 2023 г. незначительно перераспределилась в сторону увеличения сельского населения (таблица) [16].

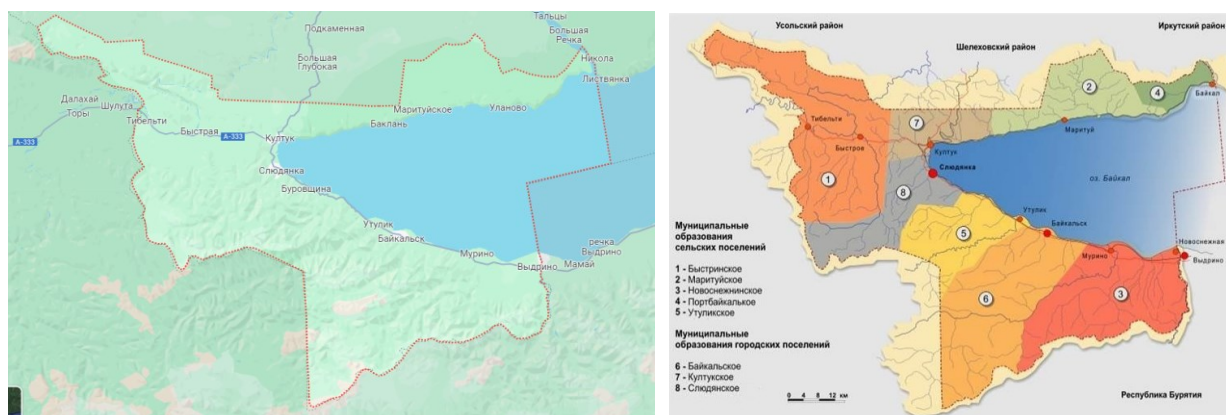


Рис. 3. Слюдянский район – административно-территориальное образование и муниципальное образование в Иркутской области
Fig. 3. Slyudyansky district is an administrative-territorial entity and municipal entity in the Irkutsk region

Динамика численности населения муниципального образования Слюдянка за период с 2018 по 2023 г.

Population dynamics of the Slyudyanka municipality for the period 2018 – 2023

План муниципального образования Слюдянка	Численность населения по годам	В т. ч. городского / чел.	В т. ч. сельского / чел.	В т. ч. в трудоспособном возрасте / чел.	Всего / чел.
	2018 г.	18 287	344	11 791	18 631
	2019 г.	18 190	345	9 416	18 535
	2020 г.	18 213	359	8 729	18 572
	2021 г.	18 139	347	9 169	18 486
	2022 г.	18 128	354	9 425	18 482
	2023 г.	17 954	426	9 372	18 380

Типология природно-планировочного каркаса

Климат Слюдянского района умеренно-континентальный. Важное значения имеют ветра с их разнообразными характеристиками – направлениями и скоростными напорами, а также сезонные влажностные характеристики. Особенности природно-климатических условий исследуемой территории являются различные микроклиматические условия на соседствующих локальных территориях, которые зависят от: местоположения и близости к акватории озера Байкал, направления ветров по природным коридорам, сформированными

существующими горными массивами, расположения таежных массивов и пр. Следовательно, климат подвержен изменению в зависимости от таких видов деятельности человека, как работы на горнодобывающих предприятиях, вырубках лесных массивов и пр.

Территории Прибайкалья являются особо охраняемыми, поэтому необходим контроль взаимодействия культурных и природных ландшафтов. Многокомпонентная структура динамической природной системы района оказывает существенное влияние на его формирование. Горный ландшафт с гольцовыми вершинами, высотой более 2000 м., а также

сеть рек (Слюдянка, Похабиха, Талая, Култучная) и ряд мелких водотоков с эпизодическими селевыми паводками, иногда катастрофическими. Следовательно, инженерно-геологические условия территории характеризуются такими геодинамическими процессами, как селеопасность, криогенные геологические процессы (криогенное пучение, термоосадки) и высокая сейсмичность. Согласно действующим картам Общего сейсмического районирования сейсмическая опасность на данной территории оценивается от 8 до 10 баллов (Байкальск, Слюдянка, Култук).

На разных этапах освоения территории воздействие деятельности человека на геологическую среду характеризовалась изменениями геодинамической среды. На первом этапе освоения территории, при развитии сельского хозяйства и строительстве зданий из дерева, техногенные нагрузки проявлялись как умеренная вырубка лесов, деревянное строительство, растениеводство, животноводство и др. Природная и геологическая среда не изменялись.

На этапе индустриального освоения территорий антропогенные нагрузки значительно возросли за счет интенсификации индустриальных процессов, а именно создание энергетических, промышленных и добывающих предприятий, транспортных и инженерных коммуникаций, промышленного и гражданского строительства. Соответственно, нарушение динамического состояния крутых склонов при их подрезке и аналогичных работах приводят к оползневым процессам. Утечки из инженерных коммуникаций приводят к суффозионно-просадочным, оползневым процессам, изменению физико-механических свойств грунтов, которые могут спровоцировать подтопление территорий. Вновь сформированные техногенные грунты и водоносные горизонты вызывают оползневые процессы. Нарушение дорожного покрытия приводит к развитию эрозии и оврагообразованию. Плотная застройка, сплошные дорожные и пешеходные водонепроницаемые покрытия без ливневой канализации при неорганизованном большом стоке атмосферных осадков способствуют развитию эрозии, осадочным, провальным геологическим процессам. Крупные жилые массивы с глубоким заложением фундаментов, подземными частями здания, близких к уровню грунтовых вод, с инфильтрационной подпиткой,

преимущественно техногенного характера, способствуют уплотнению и изменению структуры грунта, повышению риска подтопления территории, образованию заболоченных массивов и пойменных озер, как результат барражного эффекта.

Типология транспортных каркасов

Свое развитие транспортные каркасы получили как логическое продолжение освоения Сибирского (Московского) и торгового тракта в Китай. Современная транспортная структура Слюдянского района представлена транзитными федеральными трассами и сетью дорог местного значения. Восточно-Сибирская железная дорога (в границах района – 110,37 км) является частью Транссибирской магистрали и обеспечивает транспортные связи Европейской части страны с Дальним Востоком, Китаем и Монголией. Железнодорожная станция Слюдянка обеспечивает перевозки по трем направлениям – Иркутск, Улан-Удэ и порт Байкал.

Автомобильная дорога федерального значения Р-258 «Байкал» (Иркутск–Улан-Удэ–Чита) (в границах района – 99,2 км) обеспечивает административные, экономические, торговые и другие связи Урала, Западной и Восточной Сибири, Республики Бурятия и Забайкалья. К трассе примыкает автомобильная дорога федерального значения А-333 (Култук–Монды–до границы с Монголией). Трасса, протяженностью 38,9 км в границах Слюдянского района, обеспечивает связи с Тункинским и Окинским районами Республики Бурятия, а также с Монголией. Кругобайкальская железная дорога (КБЖД) расположена вдоль северного побережья озера Байкал – от п. Байкал до г. Слюдянка. По пути следования расположены населенные пункты – Байкал, Уланово, Шумиха, Половинная, Маритуй, Баклань, Шаражалгай, Ангасолка, Култук. КБЖД – часть Транссибирской магистрали (с 1902 по 1916 г.), сейчас является объектом культурного наследия федерального значения, отнесена к памятникам градостроительства и архитектуры. Транспортное водное сообщение по озеру Байкал в Слюдянском районе обеспечивают десять объектов причальной инфраструктуры, в том числе в п. Байкал функционирует порт с грузовыми и пассажирскими причалами. В зимний период времени используются ледовые пути сообщения по озеру Байкал (рис. 4).

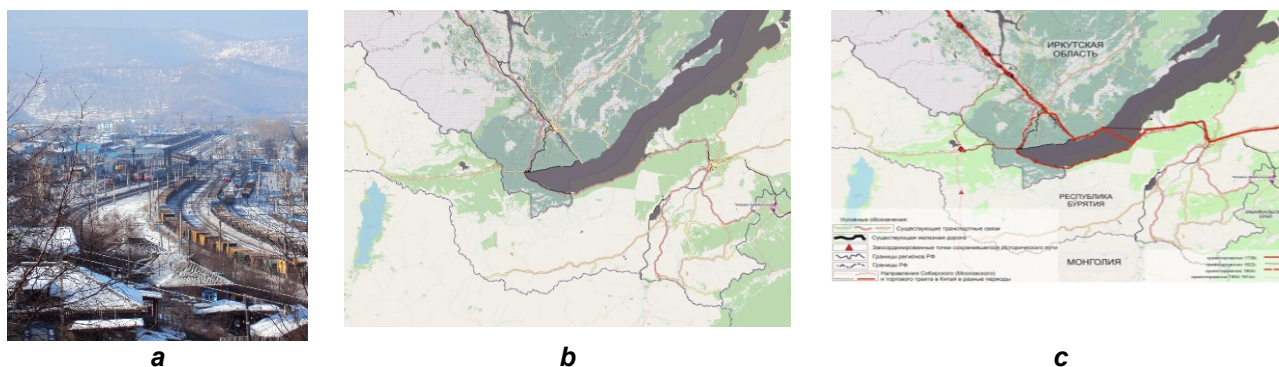


Рис. 4. Транспортная структура Слюдянского района: а – станция Слюдянка I; б – современное состояние; с – карта направлений Сибирского (Московского) и торгового тракта в Китай в разные периоды
Fig. 4. Transport structure of the Slyudyansky district: a – Slyudyanka I station; b – current state; c – map of directions of the Siberian (Moscow) and trade route to China in different periods

Типологические аспекты существующей застройки

Застройка Слюдянского района представлена историческими периодами его преобразований. Изначально деревянная застройка состояла из изб из бревен в традиционной народной русской стилистике и характеризовалась хорошими эксплуатационными качествами и ремонтпригодностью.

Наиболее выдающиеся архитектурные объекты и инженерные сооружения были со-

зданы в период строительства КБЖД (1899–1905 гг.). Это были здания разного функционального назначения: церкви, станции, школы, детские сады, больницы, административные и жилые здания.

Высокое качество архитектурных проектов (часто типовых), достигалось гармоничным пропорционированием, четкостью форм и единой стилистикой. Высокое качество их воплощения является знаковым признаком архитектуры того периода (рис. 5).

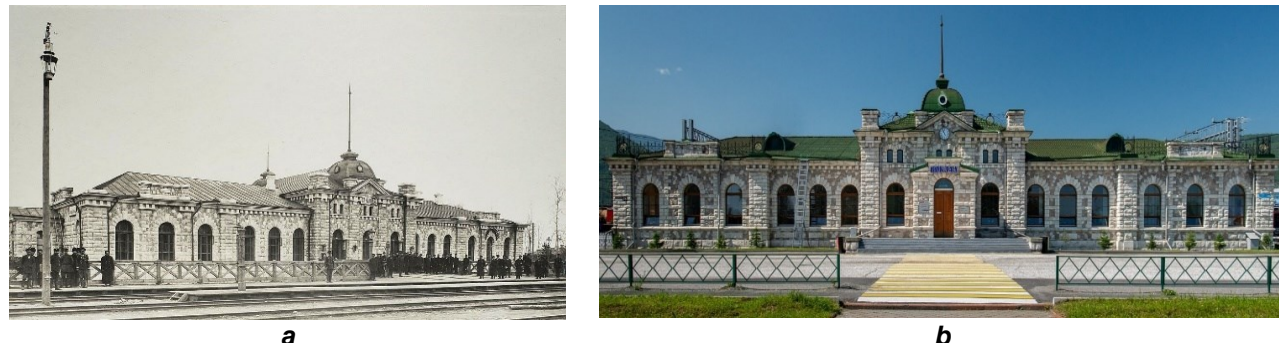


Рис. 5. Вокзал станции Слюдянка: а – здание вокзала с группой инженеров-путейцев (около 1904 г.); б – здание вокзала (современное состояние)
Fig. 5. Train station Slyudyanka: a – station building with a group of track engineers (circa 1904); b – station building (current state)

В Советского период частная застройка велась преимущественно также избами из бревен и бруса в традиционной народной русской стилистике. Кирпичные и крупнопанельные здания появились в периоды, которые соответствуют времени развития производств индустриального строительства региона. В настоящее время строительный комплекс ориентируется на актуальные строительные технологии (рис. 6,7). Строительство г. Байкальска началось в Советский индустри-

альный период. Имеет преимущественно типовую жилую застройку (кроме частного жилищного фонда). Четыре жилых микрорайона, Гагарина, Строителей, Южный и Красный Ключ, расположены попарно от федеральной автомобильной трассы Р-258 и железной дороги. Они формируют структуру города. Площадь города составляет 52 км².

Общая площадь жилищного фонда города составляет 295 тыс. м². Жилая застройка города представлена типовыми крупнопанель-

ными жилыми домами серий 1-335КС, И-163.04 (вариант ИГП), И-163.02, высотой от двух до пяти этажей, а также жилыми домами с кирпичными несущими стенами, высотой от одного до трех этажей и деревянными домами

со стенами из бруса, высотой от одного до двух этажей.

Кроме того, в городе имеются кирпичные и каркасно-панельные здания социального назначения, высотой до трех этажей.



a



b



c

Рис. 6. Слюдянка: а – водонапорная башня; б, с – Свято-Никольская церковь (западный и южный фасад)

Fig. 6. Slyudyanka: a – water tower; b, c – St. Nicholas Church (west and south facade)



a



b



c

**Рис. 7. Общий вид: а – жилой застройки (Слюдянка); б – усадебной застройки (Култук);
с – школы (Култук)**

**Fig. 7. General view: a – residential buildings (Slyudyanka); b – manor buildings (Kultuk);
c – schools (Kultuk)**

Тенденции развития деловых программ

Стратегия социально-экономического развития на период до 2030 г. – диверсификация экономики, повышение уровня и качества жизни населения и привлечение инвестиций для развития спортивной и туристической инфраструктуры, стабилизация хозяйственной деятельности и снижение негативного воздействия на окружающую среду¹.

Основными промышленными и производственными направлениями являются:

- добыча полезных ископаемых (Ангасольский щебеночный завод и подразделение «Карьер Перевал»);
- обрабатывающие производства;
- обеспечение энергией;
- строительство зданий и инженерных сооружений, хозяйственная деятельность.

Сельскохозяйственная деятельность низкорентабельная в связи с ограничением земельных ресурсов – площадь территорий сельскохозяйственного использования составляет 3960 га или 0,63 % от общей площади района, в том числе в черте поселений – 163 га. Также на земли влияют неблагоприятные климатические условия. Территория района находится в центральной экологической зоне, где действует строгое экологическое законодательство, ограничивающие применение агрохимикатов.

В социальной инфраструктуре развита сеть организаций медицинского обслуживания, образовательные, торговые, общественного питания, спортивные и др. Изначально потенциал туристического ресурса обоснован «местом» Прибайкальских территорий. Сле-

¹Стратегия социально-экономического развития муниципального образования Слюдянский район на период до 2030 г. Приложение № 1 к решению Думы муниципального образования Слюдянский район от «31» января 2019 года № 2-VI рд.

дующим фактором туристической привлекательности является наличие музеев, памятников истории и культуры, наиболее значимый из них КБЖД, и еще не освоенный потенциал туристических маршрутов по природным и вновь выявляемым историческим и культур-

ным памятникам, а также по направлениям исторических торговых путей.

Действующая туристическая инфраструктура сформирована в частях жизнеобеспечивающей, обслуживающей, транспортной и навигационной системы (рис. 8).



a



b



c

Рис. 8. Кругобайкальская железная дорога: а – станция Байкал; б – общий вид; с – подпорная стенка «Итальянская»

Fig. 8. Circum-Baikal Railway: a – Baikal station; b – general view; c – “Italian” retaining wall

Тенденции преобразования прибрежных территорий

Характер формообразования градостроительных объектов и развития архитектурной среды прибрежных территорий в структуре геосистемы формируется в соответствии с социально-экономическими условиями и актуальными технологиями строительства на всех этапах развития территории. Наиболее гармоничными являются приемы интеграции архитектурных и инженерных объектов в природный ландшафт, с учетом высокой сей-

смичности и других негативных геологических процессов.

Особенностью территориального формирования Южного Прибайкалья являются транспортные магистрали, разделяющие населенные пункты на прибрежные и подгорные территории, что в условиях современного роста интенсивности транспортных потоков вызывает конфликт в обеспечении доступности и связности градостроительных объектов. В связи с этим требуется поиск решений, обеспечивающих устойчивые связи между

планировочными элементами территорий. Современная деловая активность населения, связанная с развитием туристической инфраструктуры, развитием сферы услуг (туристической, спортивно-оздоровительной), интеллектуальной (научной) и творческой деятельности требует трансформации и интеграции территории. Потенциальные преобразования также могут быть вызваны направленностью деятельности населения, ориентированной по основным направлениям: развитие транспортной и обслуживающей ее инфраструктуры, научно-образовательная деятельность и др.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Территориально-пространственная и архитектурная организация Южного Прибайкалья гармонизирована с характерными признаками георбанистических условий:

- типы природно-планировочного каркаса, а именно: пространственные характеристики – горные хребты, в т. ч. Хамар-Дабана, водоразделы и распадки;
- система рек, впадающих в озеро Байкал и имеющих разную наполняемость (уровень воды) в течение года определяют пределы территорий расселения;
- богатейшие флора и фауна определяют экологическую направленность расселения;

– локальные климатические условия, сложные сейсмогеологические условия, определяют инженерные требования к зданиям и сооружениям. Транспортные системы, чье начало лежит от Сибирского (Московского) торгового тракта в Китай, в настоящее время развиты до комплексной наземной и водной транспортной системы местного и международного значения, и определяют потенциал взаимодействия с разными регионами. Исторически сложившиеся типологические аспекты существующей застройки показывают преемственность и актуальность архитектурно-пространственного формирования застройки. Тенденции развития деловых программ согласовываются с охраняемыми требованиями заповедных территорий и развитием научной деятельности на Прибайкальских территориях, полным комплексом социально-экономических, производственных, туристических и других программ. Преобразования направлены на рациональную интеграцию архитектурных и инженерных объектов в природный ландшафт, в том числе объемно-планировочные мероприятия, обеспечивающие устойчивые связи населенных территорий, разделенных железнодорожными путями и федеральной трассой, т. е. преобразования должны соответствовать уникальности места.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Андреева Ю.В. Реновация промышленно-производственных территорий в структуре южных городов (Ростова-на-Дону, Волгограда, Астрахани) // Архитектура и современные информационные технологии. 2023. № 3 (64). С. 196–212. <https://doi.org/10.24412/1998-4839-2023-3-196-212>. EDN: QQZAFI.
2. Гагарина Е.С. Зеленая инфраструктура и экосистемные услуги в устойчивом развитии городов // Архитектура и современные информационные технологии. 2023. № 1 (62). С. 228–247. <https://doi.org/10.24412/1998-4839-2023-1-228-247>. EDN: YICSUR.
3. Горбенкова Е.В. Факторы, определяющие развитие сельского расселения // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. № 7. С. 805–818. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2019.7.805-818>. EDN: QCVEYF.
4. Ильичев В.А., Колчунов В.И., Бакаева Н.В. Принципы стратегического планирования развития территорий (на примере федеральной земли Бавария) // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. № 2. С. 158–168. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2019.2.158-168>. EDN: VUZJVS.
5. Кирюшечкина Л.И. Спектр системного анализа в градостроительстве // Архитектура и современные информационные технологии. 2023. № 1 (62). С. 277–286. <https://doi.org/10.24412/1998-4839-2023-1-277-286>. EDN: HSSKGT.
6. Колесников А.А. Градостроительное проектирование Байкальской территории // Проект Байкал. 2022. Т. 19. № 74. С. 138–142. <https://doi.org/10.51461/pb.74.23>. EDN: WHTCRM.
7. Лебедев А.А. Пространственный анализ и обновление малых городов // Архитектура и современные информационные технологии. 2020. № 3 (52). С. 242–251. <https://doi.org/10.24411/1998-4839-2020-15213>. EDN: JZNNCD.
8. Литвин В.М. Геодинамические факторы экологического риска на юге Восточной Сибири // Экологический риск: анализ, оценка, прогноз (г. Иркутск, 13–14 октября 1998 г.). Иркутск, 1998. С. 94–96.
9. Петровская Е.И. Трехединый средовой код и моделирование городской среды // Архитектура и современные информационные технологии. 2020. № 3 (52). С. 205–227. <https://doi.org/10.24411/1998-4839-2020-15211>. EDN: OSIKRK.

10. Писарский Б.И., Демьянович Н.И., Тржцинский Ю.Б., Акулова В.В. Проблемы охраны геологической среды на примере Восточной Сибири. Новосибирск: Наука, 1993. 166 с.
11. Шубенков М.В., Шубенкова М.Ю. Подходы к регулированию антропогенного воздействия на источники природного водоснабжения // *Архитектура и современные информационные технологии*. 2022. № 4 (61). С. 306–321. <https://doi.org/10.24412/1998-4839-2022-4-306-321>. EDN: YEKKCC.
12. Щербина Е.В., Белал А.А. Значение объектов исторического и культурного наследия при реконструкции и восстановлении городов // *Вестник МГСУ*. 2019. Т. 14. № 4. С. 417–426. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2019.4.417-426>. EDN: ZGXMQR.
13. Долголюк А.А., Букин С.С., Тимошенко А.И., Исаев В.И. Опыт решения жилищной проблемы в городах Сибири в XX – нач. XXI вв. Новосибирск: Параллель, 2008. 216 с. EDN: UAGQYD.
14. Gavankar A.K. Urbanisation and Coastal Development: From Confrontation to Consultation // *Observer Research Foundation*. 2022. Режим доступа: <https://www.orfonline.org/expert-speak/urbanisation-and-coastal-development> (дата обращения: 14.09.2024).

REFERENCES

1. Andreeva Ju.V. The Renovation of Industrial and Production Areas in The Structure of Southern Cities (Rostov-On-Don, Volgograd, Astrakhan). *Architecture and Modern Information Technologies*. 2023;3(64):196-212. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/1998-4839-2023-3-196-212>. EDN: QQZAFL.
2. Gagarina E.S. Green Infrastructure and Ecosystem Services in Sustainable Urban Development. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2023;1(62):228-247. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/1998-4839-2023-1-228-247>. EDN: YICSUR.
3. Gorbenkova E.V. Factors Shaping the Development of Rural Settlement. *Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering*. 2019;14(7):805-818. (In Russ.). <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2019.7.805-818>. EDN: QCVEYF.
4. Ilyichev V.A., Kolchunov V.I., Bakaeva N.V. Principles of Area Development Strategic Planning (The Case of the Free State of Bavaria). *Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering*. 2019;14(2):158-168. (In Russ.). <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2019.2.158-168>. EDN: VUZJVS.
5. Kiryushechkina L.I. The Spectrum of System Analysis in Urban Planning. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2023;1(62):277-286. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/1998-4839-2023-1-277-286>. EDN: HSSKGT.
6. Kolesnikov A.A. Urban Planning for The Territory of Baikal. *Project Baikal*. 2022;19(74):138-142. (In Russ.). <https://doi.org/10.51461/pb.74.23>. EDN: WHTCRM.
7. Lebedev A.A. Spatial Analyses and Revitalization of Small Towns. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2020;3(52):242-251. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/1998-4839-2020-15213>. EDN: JZNNCD.
8. Litvin V.M. Geodynamic Factors of Environmental Risk in The South of Eastern Siberia. In: *Ekologicheskii risk: analiz, otsenka, prognoz = Environmental Risk: Analysis, Assessment, Forecast*. 13–14 October 1998, Irkutsk. Irkutsk; 1998. p. 94–96. (In Russ.).
9. Petrovskaya E.I. The Triune Environment Code and Modeling of Urban Tissue. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2020;3(52):205-227. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/1998-4839-2020-15211>. EDN: OCIKRK.
10. Pisarskii B.I., Dem'yanovich N.I., Trzhtinskii Yu.B., Akulova V.V. *Problems of Protecting the Geological Environment Using the Example of Eastern Siberia*. Novosibirsk: Nauka, 1993. 166 p. (In Russ.).
11. Shubenkov M.V., Shubenkova M.Yu. Regulation Approaches of Anthropogenic Impact On Sources of Natural Water Supply. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2022;4(61):306-321. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/1998-4839-2022-4-306-321>. EDN: YEKKCC.
12. Shcherbina E.V., Belal A.A. The Value of Historical and Cultural Heritage in The Reconstruction and Restoration of Cities. *Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering*. 2019;14(4):417-426. (In Russ.). <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2019.4.417-426>. EDN: ZGXMQR.
13. Dolgolyuk A.A., Bukin S.S., Timoshenko A.I., Isaev V.I. *Experience in Solving the Housing Problem in The Cities of Siberia in The XX – Early Years XXI Centuries*. Novosibirsk: Parallel, 2008. 216 p. (In Russ.). EDN: UAGQYD.
14. Gavankar A.K. Urbanisation and Coastal Development: From Confrontation to Consultation. *Observer Research Foundation*. 2022. Available from: <https://www.orfonline.org/expert-speak/urbanisation-and-coastal-development> [Accessed 14 September 2024].

Информация об авторах**Саландаева Ольга Ивановна,**

доцент кафедры архитектуры
и градостроительства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
ведущий инженер отдела сейсмостойкого
строительства,
Институт земной коры СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия,
✉e-mail: salandaeva@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6887-4113>
Author ID: 982163

Пуляевская Евгения Владимировна,

кандидат архитектуры, доцент,
заведующий кафедрой архитектуры
и градостроительства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
<https://orcid.org/0000-0001-7153-2301>
Author ID: 656019

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 11.09.2024.
Одобрена после рецензирования 23.09.2024.
Принята к публикации 24.09.2024.

Information about the authors**Olga I. Salandaeva,**

Associate Professor of the Department
of Architecture and Urban Planning,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
Lead Engineer of the Earthquake Engineering
Department of the Institute of the Earth's
Crust SB RAS,
128 Lermontov St., Irkutsk 664033,
Russia,
✉e-mail: salandaeva@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6887-4113>
Author ID: 982163

Evgeniia V. Puliaevskaia,

Cand. of Architecture,
Associate Professor,
Head of the Department of Architecture
and Urban Planning,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,
Russia,
<https://orcid.org/0000-0001-7153-2301>
Author ID: 656019

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regard-
ing 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 11.09.2024.
Approved after reviewing 23.09.2024.
Accepted for publication 24.09.2024.

Научная статья

УДК 711.168-1/9

EDN: HWIFRY

DOI: 10.21285/2227-2917-2024-4-823-831



Принципы интеграции современных мусороперерабатывающих производств в структуру крупных городов

А.Г. Хакова¹, В.В. Козлов²✉

¹Тюменский государственный институт культуры, г. Тюмень, Россия

²Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

Аннотация. Необходимость эффективной и гармоничной интеграции промышленных предприятий утилитарного назначения в городскую среду продиктована возрастающими экологическими и градостроительными требованиями крупнейших городов к развитию технологий утилизации бытовых отходов. Цель настоящей работы состояла в разработке новых методов и способов интеграции объектов по утилизации твердых бытовых отходов в структуру г. Тюмени. В оценке опыта проектирования предприятий в зарубежной и отечественной практике выделены современные методы интеграции предприятий в городскую среду: функциональный, коммуникационный и образный. Показаны градостроительные масштабы интеграции в структуру крупнейшего города: в градостроительный каркас, в структуру городского района и в архитектурную среду застройки. Авторами была разработана экспериментальная модель интеграции мусороперерабатывающего предприятия в структуру исторического центра города с учетом высоких требований к экологической устойчивости современных технологий. Она может служить прототипом для создания сети промышленных предприятий с включением социальных функций. Проектная концепция нового предприятия дополнена требованиями интеграции в структуру окружающего ландшафта и использования приема террасирования в построении основных функциональных объемов. В результате выделены и охарактеризованы этапы развития и интеграции современных мусороперерабатывающих предприятий по утилизации бытовых отходов, предложены принципы их интеграции в городскую среду, которые являются основой дальнейших изменений в архитектурном облике предприятий в контексте крупных городов.

Ключевые слова: мусороперерабатывающий завод, интегрированные предприятия, структура города, принципы проектирования, инновационная среда, утилизация отходов

Для цитирования: Хакова А.Г., Козлов В.В. Принципы интеграции современных мусороперерабатывающих производств в структуру крупных городов // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 4. С. 823–831. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-4-823-831>. EDN: HWIFRY.

Original article

Principles of integrating modern waste processing facilities into the structure of large cities

Angelina G. Khakova¹, Valery V. Kozlov²✉

¹Tyumen State Institute of Culture, Tyumen, Russia

²Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. The necessity for effective and coherent integration of utilitarian industrial enterprises into the urban environment is driven by the increasing ecological and urban planning requirements of large cities regarding the development of waste disposal technologies. To develop new methods and approaches to integrating solid waste processing facilities into the structure of Tyumen, Russia. An assessment of design practices in both international and Russian contexts highlights the following contemporary methods

© Хакова А.Г., Козлов В.В., 2024

Том 14 № 4 2024

с. 823–831

Vol. 14 No. 4 2024

pp. 823–831

Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость
Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate

ISSN 2227-2917

(print)

ISSN 2500-154X

(online)

of integration into the urban environment: functional, communicational, and aesthetic. The study demonstrates the urban planning scales of integration within a large city, spanning the urban framework, the structure of urban districts, and the architectural context of development. An experimental model was developed in the study for the integration of a waste processing facility into the historical city center, taking into account the high demands for ecological sustainability of modern technologies. This model can serve as a prototype for creating a network of industrial enterprises that also incorporate social functions. The design concept of the new facility is complemented by requirements for its integration into the surrounding landscape, utilizing terracing techniques in the configuration of primary functional volumes. As a result, the stages of development and integration of modern waste processing facilities for municipal solid waste have been identified and characterized. The paper introduces principles for their integration into the urban environment, which serve as the foundation for future changes in the architectural appearance of such enterprises within the context of large cities.

Keywords: waste recycling plant, integrated enterprises, principles of innovative environment design, waste utilization

For citation: Khakova A. G., Kozlov V.V. Principles of integrating modern waste processing facilities into the structure of large cities. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(4):823-831. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-4-823-831>. EDN: HWIFRY.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях постоянного роста населения городов и увеличения объемов промышленных и бытовых отходов, вопрос об эффективном управлении отходами становится все более актуальным.

Современная технологическая трансформация вводит в практику производства новые возможности размещения и развития комфортной городской среды. В этих условиях перспективным подходом является концепция интеграции современных мусороперерабатывающих предприятий в структуру крупных городов.

В данной статье рассмотрены основные принципы и преимущества такой интеграции, ее влияние на экологическую обстановку, качество городской среды и уровень жизни горожан.

Понятие интеграции предприятий утилизации мусора в структуру города означает объединение и координацию действий различных организаций, занимающихся сбором, транспортировкой, переработкой и утилизацией мусора, для обеспечения эффективного и экологически безопасного обращения с отходами в городе [1].

Основные градостроительные цели интеграции предприятий утилизации:

1. Снижение негативного воздействия на окружающую среду: уменьшение выбросов парниковых газов, предотвращение загрязнения почвы и грунтовых вод, снижение риска пожаров на мусорных полигонах.

2. Повышение эффективности использования ресурсов: увеличение доли перерабатываемых и повторно используемых материалов,

сокращение отходов, отправляемых на захоронение или сжигание.

3. Оптимизация затрат на обращение с мусором: снижение транспортных расходов и затрат на вывоз и утилизацию отходов за счет оптимизации маршрутов движения мусоровозов и выбора наиболее экономически эффективных способов утилизации.

4. Улучшение имиджа города и качества городской среды: повышение привлекательности предприятий для жителей и гостей города, улучшение репутации, интеграция производственных, городских и социальных функций в предприятиях.

Проблема регулирования обращения с твердыми бытовыми отходами актуальна в современном мире. В России и странах СНГ она стоит особенно остро. Также одной из актуальных проблем является нерациональное, экологически опасное и неорганизованное размещение отходов [1, 2]. На сегодняшний день объектов для разрешения, утилизации, сортировки и обработки таких объемов мусора в г. Тюмени недостаточно. Жители Тюменской области за год создали 450 тыс. т. мусора [3, 4]. Об этом говорят данные «Тюменского экологического объединения». В странах с развитыми технологиями в сфере утилизации отходов используются два метода: сжигание и переработка. Строительные отходы применяются в создании отделочных материалов, большую часть отходов сжигают для получения электрической и тепловой энергии. В большинстве стран используется комбинированный подход – что-то полностью уничтожают, а что-то перерабатывают (рис. 1) [5, 6].

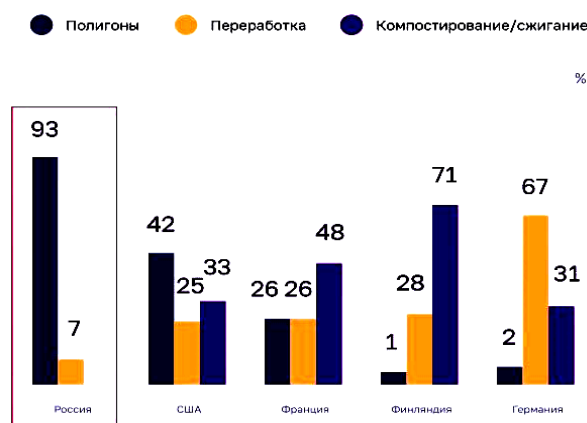


Рис. 1. Уровень утилизации отходов в России и в других странах

Fig. 1. Level of waste recycling in Russia and other countries

МЕТОДЫ

Интеграция предприятий утилизации отходов может осуществляться на разных уровнях: муниципальном, региональном, национальном или даже международном [7]. В России преобладают проблемы и вызовы, связанные с интеграцией мусороперерабатывающих заводов в структуру крупных городов, а именно:

1. Выбор оптимального местоположения. Учитывая тот факт, что крупные города обладают ограниченной площадью и большой плотностью населения, поиск подходящей территории может быть сложной задачей. Интегрированные предприятия создают предпосылки взаимодействия городских функций с учетом экологических требований и ограничений.

2. Социальный аспект интеграции мусороперерабатывающих производств. Часто жители опасаются негативного влияния данных предприятий на их здоровье и качество жизни, но современные технологии позволяют не только интегрировать их в структуру городской застройки, но и внедрить в них городские функции. Интегрированные предприятия создают новые возможности для формирования градостроительных комплексов.

3. Технологические особенности мусороперерабатывающих производств. Если технологии требуют значительных финансовых затрат на их внедрение и эксплуатацию, то интеграция предприятий и городских функций повышает их экономическую, социальную и градостроительную эффективность.

4. Управление процессом интеграции мусороперерабатывающих производств. Введение новых интегрированных предприятий требует кооперации соответствующей социальной, производственной и транспортной инфраструктуры, а также обучения персонала и создания эффективных механизмов управления

отходами [8, 9]. Таким образом, интеграция мусороперерабатывающих производств в структуру крупных городов сталкивается с рядом проблем и вызовов. Однако, с правильным подходом и учетом всех факторов возможно успешное внедрение данных предприятий, что позволит снизить негативное воздействие отходов на окружающую среду и улучшить качество жизни горожан [10]. В настоящее время проблема управления отходами является одной из наиболее актуальных для крупных городов.

Для решения этой проблемы все больше стран ориентируются на развитие современных мусороперерабатывающих предприятий [11].

Стоит отметить, что интеграция предприятий в структуру города требует тщательного планирования и основывается на определенных принципах, представленных ниже.

Экологическая безопасность мусороперерабатывающих предприятий как основа интеграции городских функций

Одним из ключевых принципов интеграции мусороперерабатывающих заводов является обеспечение экологической безопасности и расширение взаимосвязи предприятий с разными городскими структурами.

Современные технологии позволяют перерабатывать отходы таким образом, чтобы минимизировать вред для окружающей среды. Кроме того, на предприятиях используются системы очистки и фильтрации, которые позволяют снизить выбросы вредных веществ в атмосферу.

На схеме расположения мусороперерабатывающих заводов в г. Тюмень показаны допустимые варианты интеграции завода в город с учетом технологий и экологической безопасности (рис. 2).

Экономическая эффективность интегрированных предприятий

Интеграция мусороперерабатывающего производства в городскую инфраструктуру позволяет снизить затраты на транспортировку отходов и повысить экономическую, социальную и градостроительную эффективность. Не только технологическая интеграция на основе переработки отходов и получения вторичного сырья, которое может использоваться в различных отраслях промышленности, но и интеграция с перспективными городскими функциями (спорт, сервис и др.), служит основой инновационных градостроительных концепций [12].

На рис. 3 можно рассмотреть взаимодействие районов и предприятий с городом и один из вариантов интеграции завода.

Социальная ответственность и создание выразительных архитектурных комплексов в городе

В контексте интеграции мусороперерабатывающих заводов формируются новые модели интегрированного предприятия, которые реализует различные интересы и потребности в досуге, сервисе и спорте всех заинтересованных сторон: местных жителей, работников завода, образовательных организаций и многое другое [13].

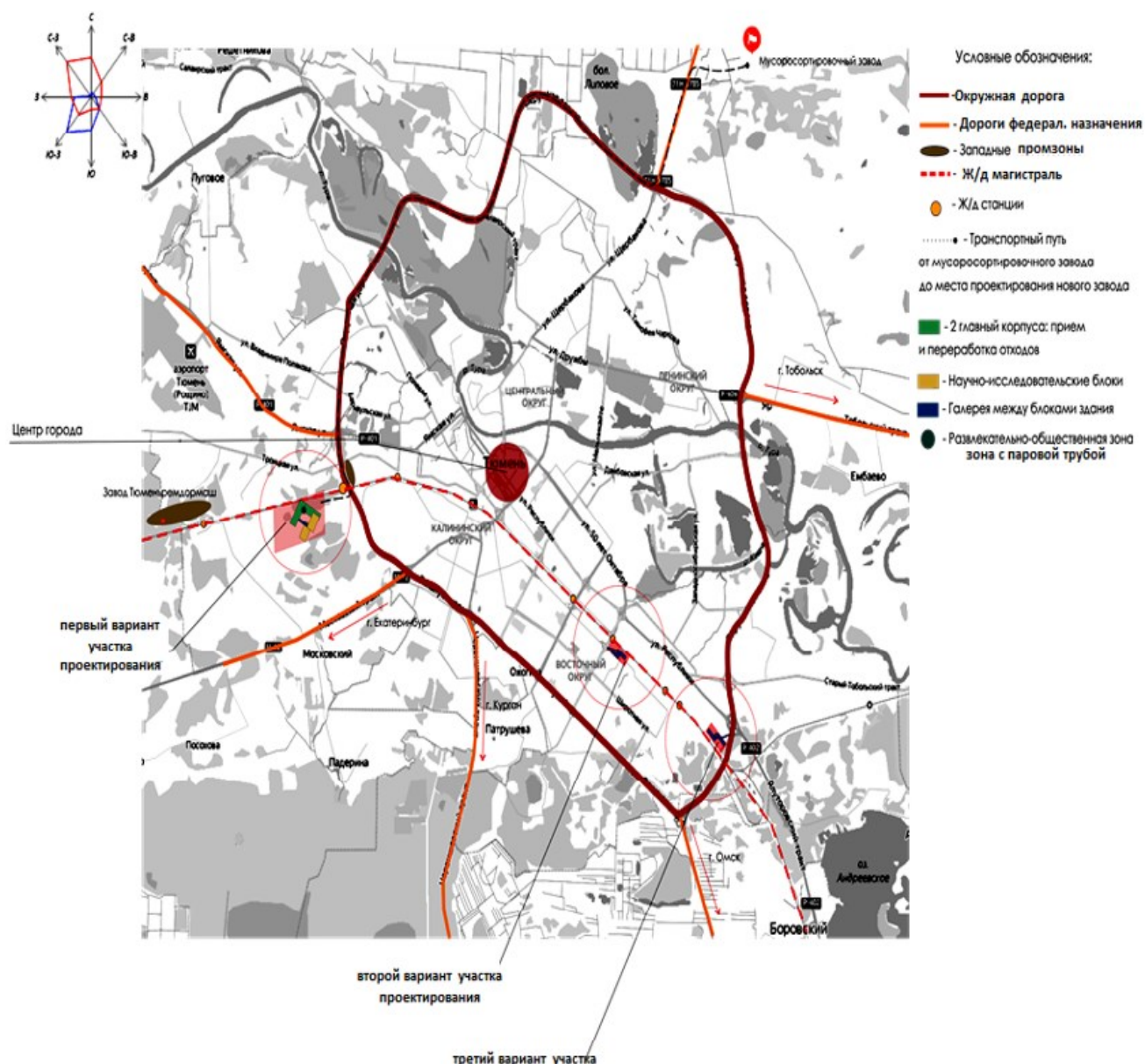


Рис. 2. Схема вариантов расположения мусороперерабатывающего завода в структуре крупного города

Fig. 2. Diagram of options for the location of a waste recycling plant in the structure of a large city

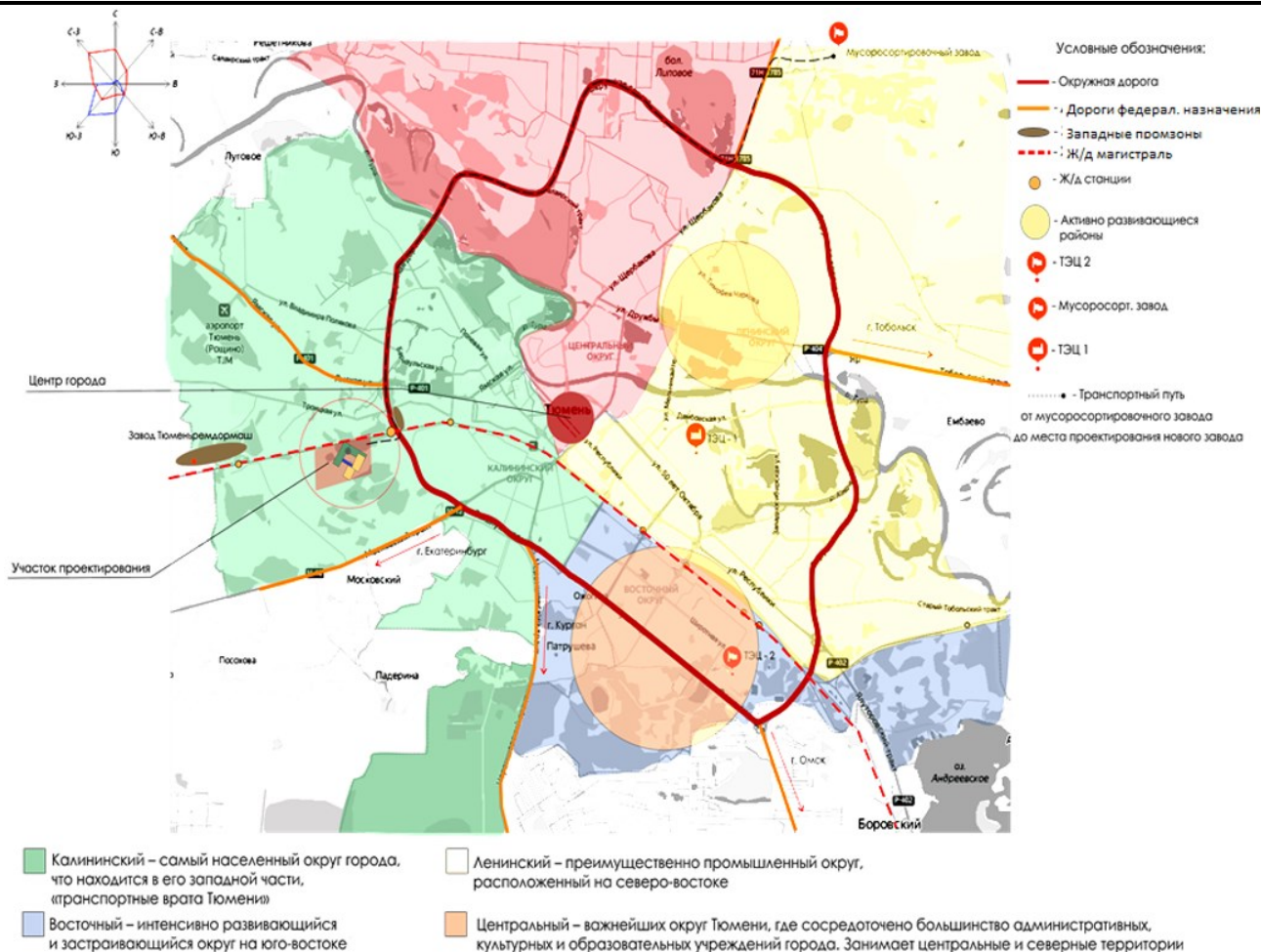


Рис. 3. Схема взаимодействия районирования и предприятий города
Fig. 3. Scheme of interaction between zoning and city enterprises

С этим связаны следующие преимущества:

- обеспечение безопасности и качества городской среды;
- формирование нового архитектурного образа завода как градостроительной доминанты в окружающей среде;
- создание на предприятии образовательных и спортивных центров, экспозиции устойчивых городов на основе технологии переработки мусора;
- сотрудничество с местными сообществами и участие в реализации социальных проектов.

На схеме ландшафтно-рекреационного каркаса г. Тюмени показан один из вариантов размещения комплекса мусороперерабатывающего предприятия в городе. Его можно сделать градоформирующим объектом, интегрировав в социальную инфраструктуру города и минимизировав негативное воздействие, сделав его максимально экологичным (рис. 4).

Интеграция мусороперерабатывающего производства в северо-западном секторе г. Тюмени создает следующие преимущества:

1. Построение логистики отходов с учетом транспортной структуры города и уменьшение загрязнения окружающей среды.
2. Использование вторичного сырья в комплексе кооперированных предприятий и мастерских.
3. Интегрированное предприятие как центр социальной активности и развития спортивно-образовательных функций, а также благоустройства прилегающего городского парка.
4. Улучшение качества городской среды, экологической ситуации и повышение качества жизни населения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В проектной концепции за основу приняты новейшие инновационные и технологические решения, снимающие полностью экологические риски для предприятий подобного типа [14, 15]. В этой связи расширяется спектр перспективных моделей интеграции мусороперерабатывающих предприятий в структуру города как новых градоформирующих объектов с высоким потенциалом пространственного формообразования облика города (рис. 5, 6).



Рис. 4. Схема сложившегося ландшафтно-рекреационного каркаса города
Fig. 4. Scheme of the existing landscape and recreational framework of the city

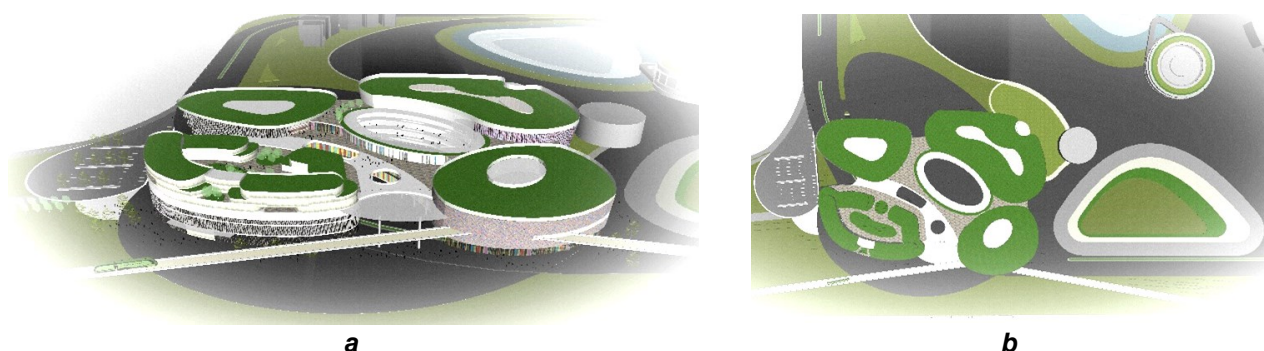


Рис. 5. Модель интегрированного мусороперерабатывающего комплекса в северо-западном районе г. Тюмени: а – перспективный вид комплекса; б – схема генплана мусороперерабатывающего комплекса. 2023. Автор А.Г. Хакова
Fig. 5. Model of an integrated waste processing complex in the northwestern region of Tyumen: a – perspective view of the complex; b – general plan diagram of the waste processing complex, 2023. Author A.G. Hakova

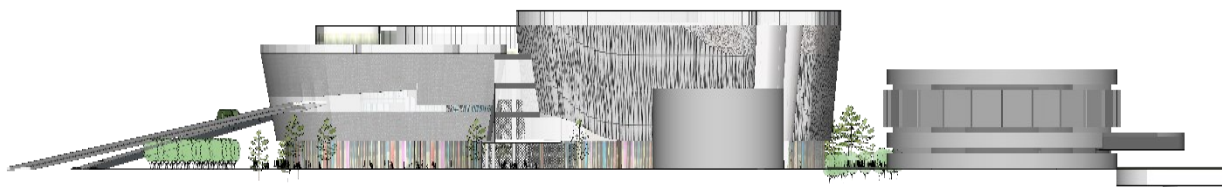


Рис. 6. Западный фасад мусороперерабатывающего комплекса в г. Тюмени, 2023.

Автор А.Г. Хакова

Fig. 6. Western facade of the waste processing complex in Tyumen, 2023. Author A.G. Hakova

Особое внимание в проекте планируется уделить разработке в будущем аспектам интеграции предприятия и социальной инфраструктуры города, т. к. технологические, ресурсные, просветительские и инфраструктурные функции мусороперерабатывающего предприятия могут стать мотором развития и создания новых типологий и проектов для социально- и пространственно-интегрированных комплексов [16, 17].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Интеграция современных мусороперерабатывающих производств способствует формированию у населения культуры обращения с отходами и повышает уровень экологического образования. Это в свою очередь приводит к улучшению качества жизни и здоровья населе-

ния как на уровне города, так в структуре проектируемого участка [18]. Следуя предлагаемым принципам интеграции предприятий, создается эффективная система управления отходами, повышается градостроительная и социальная значимость предприятий, качество окружающей среды для будущих поколений [19]. Опираясь на зарубежный опыт, можно создать наиболее интересные архитектурные сооружения, которые смогут сформировать новый облик города, стать источником архитектурных экспериментов, цель которых заключается в репрезентации утилитарной сути в художественном образе [20]. Настоящее исследование положено в основу дипломного проекта, который выполняется автором в настоящее время.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Попов Д.В. Принципы формообразования современных мусоросжигательных заводов (ТБО) // Архитектон: известия вузов. 2019. № 3 (67). С. 1–6. EDN: RPLBXT.
2. Соколов Л.И., Кибардина С.М., Фламме С., Хазенкамп П. Сбор и переработка твердых коммунальных отходов. М.: Инфра-Инженерия, 2019. 176 с.
3. Викторова Л.А. Архитектура промышленных предприятий в контексте современных архитектурных течений // Архитектура и строительство России. 2012. № 3. С. 13–25. EDN: OTTAAR.
4. Сильги К. де История мусора: От Средних веков до наших дней / пер. с фр. И.Н. Васюченко, Г.Р. Зингер. М.: Экология, 2011. 224 с.
5. Сазыкина Е.В. Архитектура современных утилитарных промышленных объектов городской среды на примере мусороперерабатывающих заводов и станций по очистке сточных вод // Архитектура и современные информационные технологии. 2016. № 2 (35). С. 1–13. EDN: XXRGAZ.
6. Кремнев С.А., Поморов С.Б., Малыгин А.С. Роль мусоросжигательного предприятия в городской застройке // Ползуновский альманах. 2020. № 2-2. С. 45–48. EDN: MTMMPY.
7. Reicher C. Städtebauliches Entwerfen. 3. Auflage. Berlin: Springer Vieweg Verlag, 2014. 295 p.
8. Быстрова Т.Ю. Реабилитация промышленных территорий городов: теоретические предпосылки, направления проектов (Часть 1) // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2013. № 3. С. 21–24. EDN: RDOJTH.
9. Geraedts R., van der Voordt T., Remøy H., Oudijk C. Transformatie van Kantoorgebouwen Thema's, Actoren, Instrumenten en Projecten. Rotterdam: Uitgeverij, 2007. 480 p.
10. Горбачева Н.В., Тимофеева А.Ю. Декарбонизация экономики Сибири и Скандинавии: сравнительный анализ: аналитический доклад. Новосибирск: Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН, 2023. 67 с.
11. Буфетова А.Н. Пространственное распределение экономической активности в России: основные тенденции постсоветского периода. Новосибирск: Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН, 2023. 217 с.
12. Мавлютов Р.Р. Пространственное развитие крупных городов России в период постиндустриального перехода. Волгоград: Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет. 2015. 160 с.

13. Ильина И.Н., Коно М. Трансформация подходов к развитию «умного города»: монография. М.: Издательский дом Высшей школы экономики, 2023. 248 с.
14. Омельчук А.К. Хочешь основать Тюмень: тюменский завет. Тюмень: Инфо-плюс, 2021. 382 с.
15. Бондаренко И.А., Возвышаева Т.И., Грязнова Н.В., Дуцев М.В., Кукина И.В., Лёвшин С.С. [и др.] Реновация городской среды: исторические прецеденты. М.: КОЛО, 2021. 333 с. EDN: UKNEKF.
16. Кугушева Т.В., Андрюха Е.А., Ахмедханов У.Ф., Басакина Д.А., Горина А.А., Грановская И.Ю. [и др.] Трансформация городской территории в условиях реализации проектов международного масштаба. М.: РУСАЙНС, 2020. 154 с.
17. Дудникова К.А. Переоборудование производственных зданий под многофункциональные жилые комплексы // Наука, образование и экспериментальное проектирование. Труды МАПХИ. Материалы Междунар. науч.-практ. конф. (г. Москва, 04–08 апреля 2016 г.). М., 2016. С. 147–152. EDN: YALMLJ.
18. Бормосов Н.А., Лукинов М.М. Концепция строительства мусоросжигательных заводов // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: технические науки. 2022. № 3 (17). С. 7–10. EDN: EPXJDB.
19. Назарова М.В. Современный опыт реконструкции объектов промышленной архитектуры под жилье (Европа, США, Австралия) // Архитектура и современные информационные технологии. 2013. № 3 (24). С. 1–13. EDN: RBNJQX.
20. Давыдов М.Я. Перспективная технология утилизации твердых бытовых отходов на мусоросжигательных заводах // Экоурбанистика: умные и зеленые города. Сборник статей и экокейсов по материалам Международного конкурса экопроектов (г. Орёл, 20–21 декабря 2022 г.). Орёл, 2023. С. 51–56. EDN: VIZBEK.

REFERENCES

1. Popov D.V. Principles of Form-Building for Contemporary Waste Incineration Plants. *Architecton Proceedings of Higher Education*. 2019;3(67):1-6. (In Russ.). EDN: RPLBXT.
2. Sokolov L.I., Kibardina S.M., Flamme S., Khazenkamp P. *Collection and Processing of Municipal Solid Waste*. Moscow: Infra-Engineering, 2019. 176 p. (In Russ.).
3. Viktorova L.A. The Architecture of Industrial Enterprises in The Context of Contemporary Architectural Trends. *Architecture and Construction of Russia*. 2012;3:13-25. (In Russ.). EDN: OTTAAR.
4. Sil'gi K. De History of Garbage: From The Middle Ages to The Present Day, 2011, 224 p. (Russ. ed.: *Istoriya musora: Ot Srednikh vekov do nashikh dnei*. Moscow: Ecology; 2011. 224 p.).
5. Sazykina E.V. The Architecture of Modern Industrial Facilities in Urban Space On the Example of Garbage Recycling Plants and Stations for Wastewater Treatment. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2016;2(35):1-13. (In Russ.). EDN: XXRGZ.
6. Kremnev S.A., Pomorov S.B., Malygin A.S. The Role of Waste Incineration Plant in Urban Development. *Polzunovskii al'manakh*. 2020;2-2:45-48. (In Russ.). EDN: MTMMPY.
7. Reicher C. *Städtebauliches Entwerfen*. 3. Auflage. Berlin: Springer Vieweg Verlag, 2014. 295 p.
8. Bystrova T.Y. Rehabilitation of Industrial Areas of Cities: Theoretical Background, Design Trends (Part 1). *Akademicheskii vestnik UralNIiproekt RAASN*. 2013;3:21-24. (In Russ.). EDN: RDOJTH.
9. Geraedts R., van der Voordt T., Remøy H., Oudijk C. *Transformatie van Kantoorgebouwen Thema's, Actoren, Instrumenten en Projecten*. Rotterdam: Uitgeverij, 2007. 480 p.
10. Gorbacheva N.V., Timofeeva A.Yu. *Decarbonization of The Economy of Siberia and Scandinavia: Comparative Analysis: Analytical Report*. Novosibirsk: Institute of Economics and Organization of Industrial Production SB RAS, 2023. 67 p. (In Russ.).
11. Bufetova A.N. *Spatial Distribution of Economic Activity in Russia: Main Trends of the Post-Soviet Period*. Novosibirsk: Institute of Economics and Organization of Industrial Production SB RAS, 2023. 217 p. (In Russ.).
12. Mavlyutov R.R. *Spatial Development of Large Russian Cities During the Period of Post-Industrial Transition*. Volgograd: Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. 2015. 160 p. (In Russ.).
13. Il'ina I.N., Kono M. *Transformation of Approaches to The Development of A "Smart City": Monograph*. Moscow: Publishing House of the Higher School of Economics, 2023. 248 p. (In Russ.).
14. Omel'chuk A.K. *Do You Want to Found Tyumen: Tyumen Testament*. Tyumen: Info-Plus, 2021. 382 p. (In Russ.).
15. Bondarenko I.A., Vozvyshaeva T.I., Gryaznova N.V., Dutsev M.V., Kukina I.V., Levoshko S.S. [et al.] *Renovation of The Urban Environment: Historical Precedents*. Moscow: KOLO, 2021. 333 p. (In Russ.).
16. Kugusheva T.V., Andryukha E.A., Akhmedkhanov U.F., Basakina D.A., Gorina A.A., Granovskaya I.Yu. [et al.] *Transformation of The Urban Area in The Context of the Implementation of International Projects*. Moscow: RUSAINS, 2020. 154 p. (In Russ.).

17. Dudnikova K.A. Conversion of Industrial Buildings for Mixed-Use Housing. In: *Nauka, obrazovanie i eksperimental'noe proektirovanie. Trudy MARKhI. Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Science, education and experimental design. Proceedings of the Moscow Architectural Institute. Materials of the International Scientific and Practical Conference*. 04–08 April 2016, Moscow. Moscow; 2016. p. 147–152. (In Russ.). EDN: YALMLJ.
18. Bormosov N.A., Lukinov M.M. Concept of Waste Incineration Plant Construction. *Bulletin of Vologda State University. Series Technical Sciences*. 2022;3(17):7-10. (In Russ.). EDN: EPXJDB.
19. Nazarova M.V. Contemporary Experience for Reconstruction of Industrial Architecture for Residential Use (Europe, USA, Australia). *Architecture and Modern Information Technologies*. 2013;3(24):1-13. (In Russ.). EDN: RBNJQX.
20. Davydiv M.Ya. Promising Technology for Recycling Solid Household Waste at Incineration Plants. In: *Ekourbanistika: umnye i zelenye goroda. Sbornik statei i ekokeisov po materialam Mezhdunarodnogo konkursa ekoproektov = Eco-Urbanism: Smart and Green Cities. Collection of Articles and Eco-Cases Based On Materials from The International Eco-Project Competition*. 20–21 December 2022, Oryol. Oryol; 2023. p. 51–56. (In Russ.). EDN: VIZBEK.

Информация об авторах

Хакова Ангелина Георгиевна,
магистрант,
Тюменский государственный институт культуры,
625048, г. Тюмень, ул. Карская, 38,
Россия,
e-mail: angelina200594@mail.ru

Козлов Валерий Васильевич,
кандидат архитектуры, профессор кафедры
архитектуры и градостроительства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
✉e-mail: kozlov@istu.edu
<https://orcid.org/0000-0003-0896-4149>
Author ID: 701929

Information about the authors

Angelina G. Hakova,
Master's Student,
Tyumen State Institute of Culture, Tyumen,
38 Karskaya St., Tyumen 625048,
Russia,
e-mail: angelina200594@mail.ru

Valery V. Kozlov,
Candidate of Architecture, Professor
of the Department of Architecture
and Urban Planning,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
✉e-mail: kozlov@istu.edu
<https://orcid.org/0000-0003-0896-4149>
Author ID: 701929

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад
в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

Все авторы прочитали и одобрили
окончательный вариант рукописи.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regard-
ing 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 21.05.2024.
Одобрена после рецензирования 19.06.2024.
Принята к публикации 21.06.2024.

Information about the article

The article was submitted 21.05.2024.
Approved after reviewing 19.06.2024.
Accepted for publication 21.06.2024.



Современный православный храм в г. Калининграде как объект деревянного культового зодчества

С.Г. Шабиев^{1✉}, В.А. Квач², Е.Д. Моисеева³

^{1,2,3}Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Аннотация. Авторским коллективом, где главным архитектором является Квач В.А., разработан эскизный проект деревянного храма на 300 прихожан в стиле модерн в г. Калининграде. Применены такие методы изучения, как исследование и сравнительный анализ культовых сооружений в отечественной и зарубежной практике с установлением канонических приемов храмового зодчества. Также сюда входит объемное макетирование и многовариантное проектирование объекта в юго-западной части города, на перешейке между зал. Ушаковский и о. Форелевое. С их помощью был создан уникальный эскизный проект православного храма в стиле модерн с учетом градостроительных условий. Представлен эклектичный образ храма, который органически вписывается в историческую среду древнего города. Архитектурный комплекс включает само здание храма, часовню-крестильню, причтовый дом и «Райский сад». Проектом предложен однопролетный шатровый храм с десятью куполами, средняя часть здания выполнена в виде вытянутого восмерика, к которому примыкают объемы колокольни, притвора, алтаря и др. В объемно-пространственной композиции выделены два вертикальных акцента – колокольня и алтарная часть, создающие градостроительную доминанту. Стилистика православного храма учитывает традиции различных культур и религиозных конфессий самого западного региона России. Достигнута ансамблевая застройка, органически вписанная в окружающий ландшафт. Используемые и разработанные в эскизном проекте архитектурно-художественные приемы могут быть внедрены в процесс проектирования проектов храмов России и во многих странах мира.

Ключевые слова: деревянное культовое зодчество, православный храм, город Калининград, многовариантное проектирование, объемное макетирование

Для цитирования: Шабиев С.Г., Квач В.А., Моисеева Е.Д. Современный православный храм в г. Калининграде как объект деревянного культового зодчества // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 4. С. 832–845. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-4-832-845>. EDN: HFBHWS.

Original article

Modern Orthodox church in Kaliningrad as an object of wooden church architecture

Salavat G. Shabiev^{1✉}, Vitaly A. Kvach², Ekaterina D. Moiseeva³

^{1,2,3}South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

Abstract. A team of architects headed by V.A. Kvach developed a preliminary design for a wooden church in a modern style in Kaliningrad. The church is designed to accommodate 300 parishioners. The study methodology involves research and comparative analysis of church architectures both in Russian and international contexts, establishing canonical approaches to temple architecture. Additionally, the project incorporates volumetric modeling and variant design solutions for the building located in the south-western part of the city, situated on the isthmus between Ushakovsky Lagoon and Forelevy Island. These methodologies facilitated a unique preliminary design for an Orthodox church in the modern style, taking into account the urban planning conditions. The project presents an eclectic image of the church, which harmoniously integrates into the historical environment of the ancient city. The architectural complex comprises a church building, a baptismery chapel, a clergy house, and a *heavenly garden*. The project

suggests a single-span tent-shaped temple featuring ten domes, with the central part of the building designed as an elongated octagon, adjacent to the bell tower, narthex, sanctuary, and others. The volumetric-spatial composition emphasizes two vertical focal points – the bell tower and sanctuary – which create an urban dominant. The stylistics of the Orthodox church embraces traditions of various cultures and religious denominations from the westernmost region of Russia. An ensemble development is organically integrated into the surrounding landscape. The architectural and artistic techniques employed and developed in the preliminary design can be implemented in the design process of temple projects in Russia and in many countries around the world.

Keywords: wooden religious architecture, Orthodox church, Kaliningrad city, multivariate design, three-dimensional layout

For citation: Shabiev S.G., Kvach V.A., Moiseeva E.D. Modern Orthodox church in Kaliningrad as an object of wooden church architecture. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(4):832-845. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-4-832-845>. EDN: HFBHWS.

ВВЕДЕНИЕ

В 2024 г. на кафедре архитектуры Южно-Уральского государственного университета, имеющей большой опыт в проектировании и реализации объектов культового зодчества, был разработан эскизный проект деревянного храма в стиле модерн для г. Калининграда.

Потребность в строительстве православных храмов в России обусловлена возросшей социальной необходимостью духовного возрождения страны. Об этом свидетельствует увеличение возводимых православных храмов, общее количество которых превысило 36 тыс. по всей стране.

Ретроспективный анализ отечественной и зарубежной практики использования дерева в зодчестве свидетельствует о широком применении этого материала в строительстве. Еще в X в. возводились первые деревянные храмы [1–4].

Самым распространенным типом храмов является шатровый с восьмигранной пирамидой, завершающийся открытой колокольней. Особую историческую, информационную и художественную ценность имеет всемирно известный храмовый архитектурный ансамбль на о. Кижи, построенный без единого гвоздя [5–9].

Всемирно известное культовое зодчество России – это национальное достояние, сохранившееся в старинных городах Суздале, Великом Новгороде, Костроме и др. и являющихся подлинными шедеврами храмовой архитектуры. Они оказали значительное влияние на развитие культового зодчества с использованием новых технологий долговременного сохранения деревянных конструкций.

Эти объекты культурного наследия охраняются государством и являются известными центрами туристических маршрутов, пользующихся широкой популярностью среди отече-

ственных и зарубежных туристов [10–16]. Исследование зарубежного опыта использования дерева в архитектуре показывает о значительном распространении этого материала при строительстве общественных зданий, в том числе культовых.

Храмовые комплексы и церкви в зарубежных странах получили свое развитие начиная с XII в., когда на территории Норвегии в г. Боргунде была возведена деревянная церковь в традиционном скандинавском стиле. Она расположена на берегу реки и видна с больших расстояний, имеет динамично развитую вверх композиционную структуру со шпильями и архитектурным орнаментом на фасадах.

В другой скандинавской стране, Финляндии, в XVII в. возведена церковь в г. Петаяйвеси с характерной для этого региона архитектурным обликом. Ее композиционной особенностью является симметричная планировка с отдельным этажом для колокола и восьмиугольный парус свода над молельной зоной [17–19].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Образ православного храма в Калининградской области отличается эклектичностью и многообразием архитектурных стилей, отражает многовековую историю региона, его культурное наследие и религиозную жизнь. Храм является символом единства и гармонии, которые царят в этом крае. Он отражает специфику региона, где представлены различные культурные и религиозные конфессии [20–22]. Его архитектура сочетает в себе элементы разных стилей, создавая уникальный и запоминающийся образ. В ней можно увидеть влияние как православной, так и других религиозных традиций, которые существовали на территории Калининградской области на протяжении ее исто-

рии. Он выглядит величественно и торжественно, но при этом не теряет своей гармоничности и пропорциональности. Он вписывается в окружающую среду и сочетается с другими зданиями и сооружениями. Использование современных методов макетирования и многовариантного проектирования позволило создать оригинальное архитектурно-художественное решение храма в стиле модерн с учетом градостроительных условий.

В процессе проведения теоретического анализа мировой практики проектирования культовых деревянных ансамблевых храмов было выявлено, что храмовое зодчество представляет собой широкое разнообразие архитектурно-планировочных решений и образно-художественных идей [23–28].

Была произведена оценка опыта проектирования объектов православной архитектуры с точки зрения градостроительной и планировочной структуры. На основе анализа и сравнения было установлено, что культовые сооружения возводятся по традиционным принципам и правилам проектирования храмов.

Особое внимание в проектировании уделено исследованию градостроительной ситуации. Эстетико-композиционная взаимосвязь храма с окружающей средой проектирования становится основой архитектурного произведения как искусства.

Храм в г. Калининграде может стать не только местом богослужений, но и центром духовной жизни, культуры и образования [29–32]. Он будет способствовать сохранению и развитию православной веры, укреплению единства и гармонии в регионе.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных исследований, макетирования и многовариантного проектирования разработан эскизный проект деревянного храма на 300 прихожан в стиле модерн в соответствии с требованиями современного православного зодчества.

Место проектирования комплекса храма выбрано в юго-западной части Балтийского р-н г. Калининграда, на перешейке между зал. Ушакова и о. Форелевое, рядом с областным яхт-клубом (рис. 1).

На выбранном участке размещены основной храм, часовня-крестильня и причтовый дом. Вокруг всего объема храма организовано ландшафтное благоустройство с дорожками, газонами, клумбами и фонтанами. С северной стороны предполагается разбить «Райский сад», что станет своеобразной буферной зоной между основными постройками комплекса и территорией яхт-клуба. Непосредственно с восточной стороны храма организован выход к

заливу с устройством набережной, которая связана с «Райским садом» и благоустроена малыми архитектурными формами.

При проектировании учитывались природно-климатические и экологические требования, а также строительные нормы и правила для минимизации воздействия на окружающую среду. Продуманный ансамбль храма символизирует гармонию между функциональностью и художественным воплощением, несущим в себе дух времени и традиций. По планировочным характеристикам храм является однопрестольным и предназначен для проведения богослужений в честь одного святого или церковного праздника. Шатровый стиль придает ему уникальный и запоминающийся вид, а десять куполов завершают развитую и полноценную композицию (рис. 2). Средняя часть храма выполнена в виде вытянутого восьмерика, что является традиционным элементом православной архитектуры. На западной части находится притвор, а на восточной части – алтарь, что соответствует каноническим правилам расположения частей храма. Притвор служит местом для подготовки к богослужениям, а также для ожидания и общения прихожан. К юго-восточной стене восьмерика примыкает ризница, предназначенная для хранения церковных облачений, священных сосудов и других предметов богослужения. В северо-восточной части расположена пономарка. К юго-западной стене восьмерика примыкает четырехгранный объем колокольни с выходом на хоры и регистратурой. В примыкающем к стене северо-западном объеме располагается гардероб для прихожан, перед притвором расположена перекрытая паперть. С северной и южной стороны запроектированы боковые входы с крыльцами. На втором уровне расположены хоры, где свет проникает через резной деревянный витраж. Также здесь расположены библиотека, гардероб для служителей и кабинет для настоятеля.

Фасад храма украшен крестами, иконами и орнаментами (рис. 4).

Здание храма возводится на прочной монолитной плите, обладающей предельно надежным армированием. Нижняя, цокольная часть храма, изящно отделана серым «рваным» гранитом. Главным конструктивным элементом стен служат деревоклеенные брусья, размером 250×250 мм, изготовленные из хвойных пород, с максимально допустимой влажностью 4 %. Они глубоко пропитаны антипиренами, что обеспечивает им долговечность и безопасность. Все шатровые конструкции представляют собой сложные вязанные деревоклеенные фермы, объединенные в единую композицию с несущими элементами сводов.

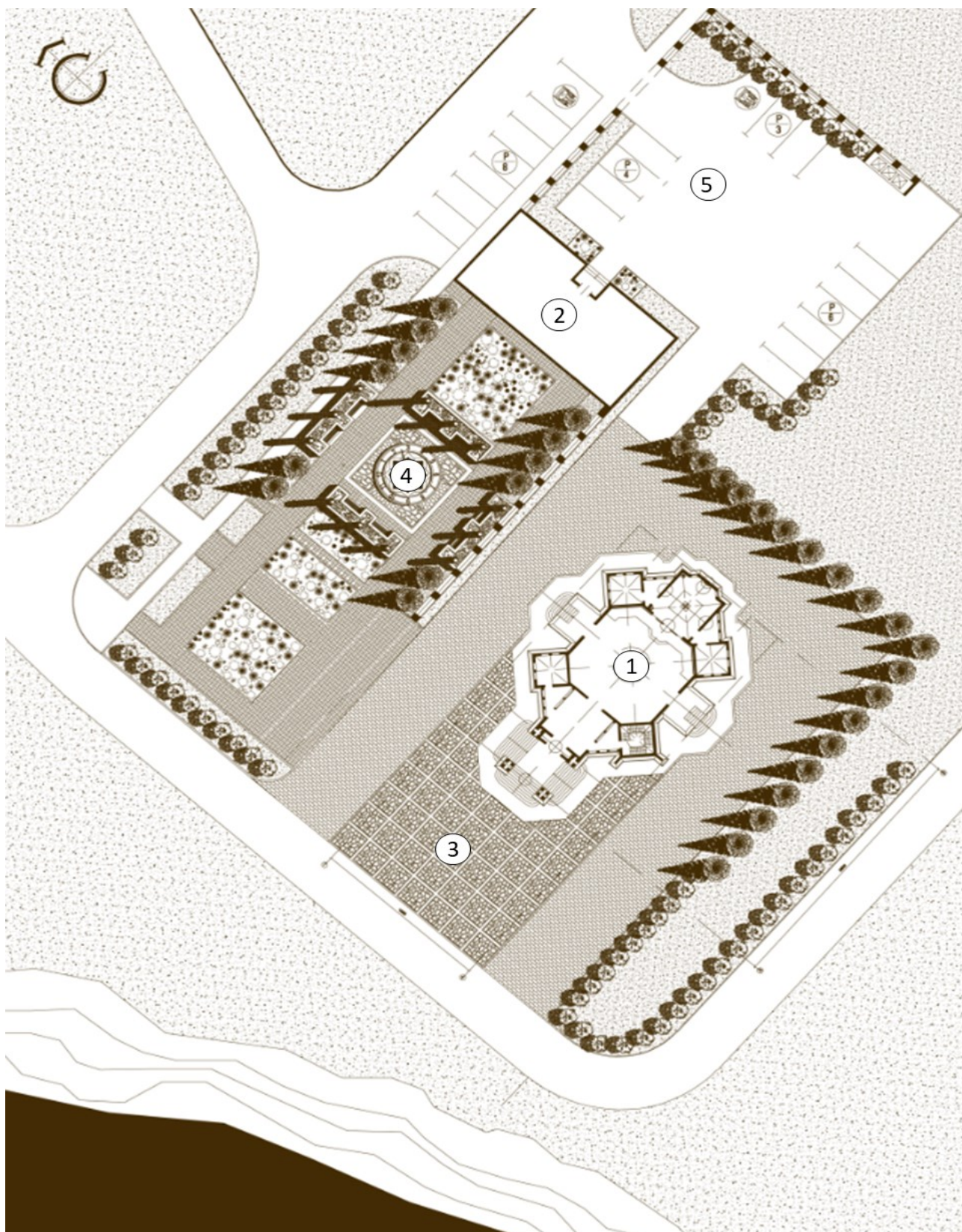


Рис. 1. Схема генерального плана храма в г. Калининграде: 1 – здание храма; 2 – здание причтового дома; 3 – площадь; 4 – «Райский сад»; 5 – автопарковка
Fig. 1. The scheme of the general plan of the temple in the city of Kaliningrad: 1 – the temple building; 2 – the building of the church building; 3 – the square; 4 – «Eden garden»; 5 – parking

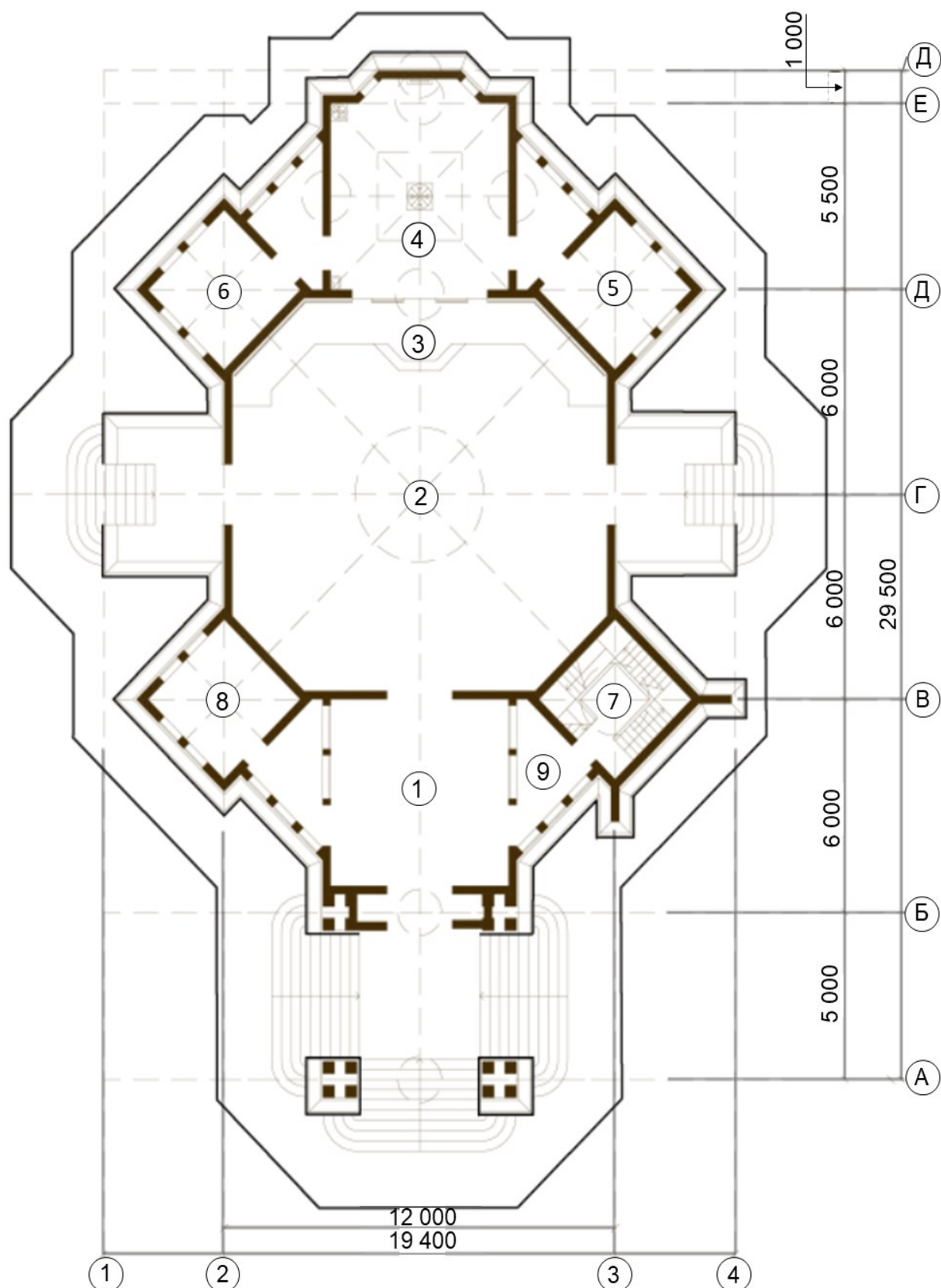


Рис. 2. План храма на отметке 0,000: 1 – притвор; 2 – средняя часть храма; 3 – солея; 4 – алтарь; 5 – ризница; 6 – пономарка; 7 – лестница на хоры; 8 – гардероб; 9 – регистратура
 Fig. 2. The plan of the temple at the 0.000: 1 – mark is the narthex; 2 – the middle part of the temple; 3 – salt; 4 – altar; 5 – sacristy; 6 – sacristy; 7 – stairs to the choir; 8 – wardrobe; 9 – reception

Центральный шатер храма завершается куполом. Особым достоинством проекта является то, что в основном объеме выделены два

вертикальных акцента – колокольня и сложная алтарная часть, образовавшие градостроительную доминанту (рис. 3).

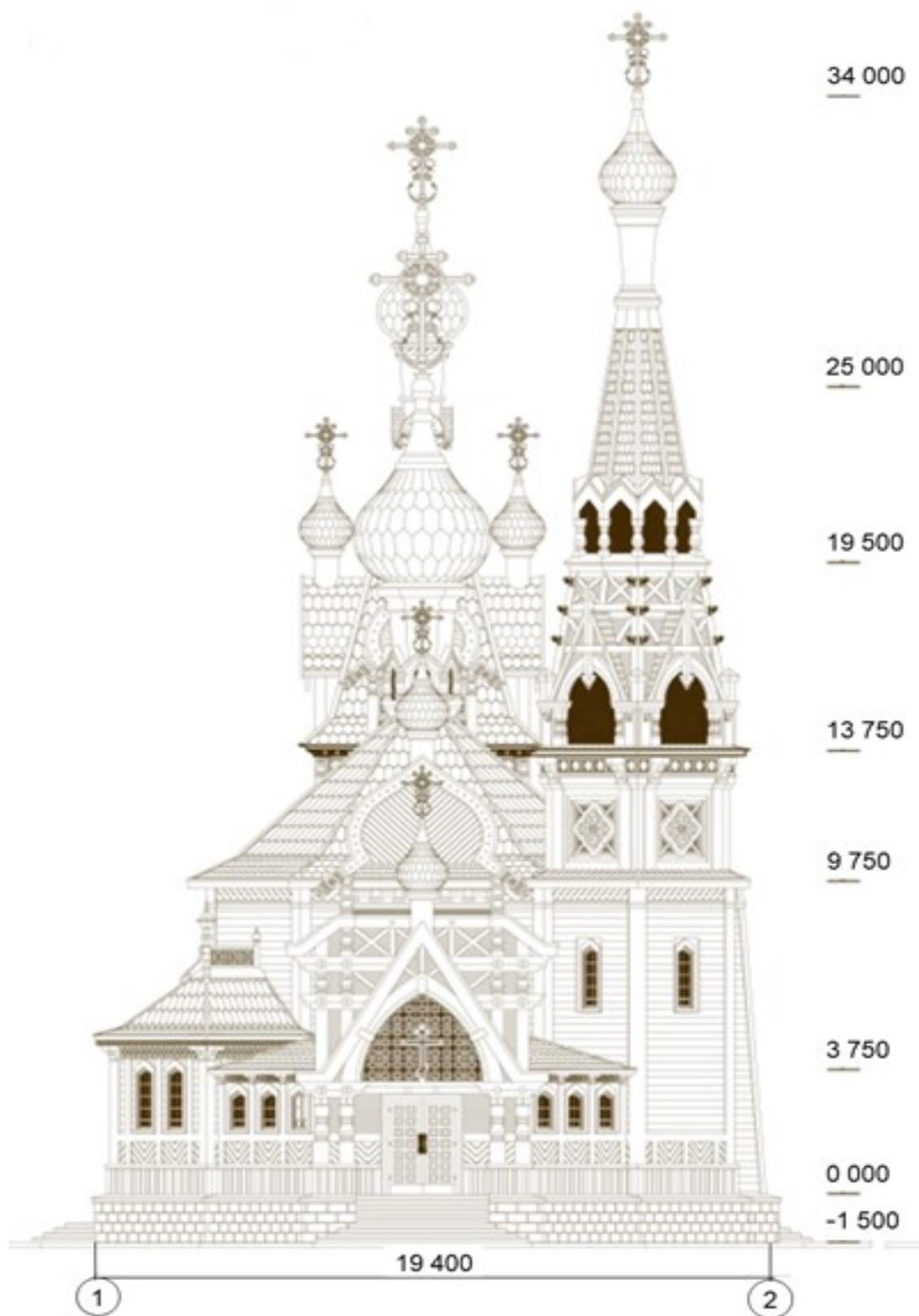


Рис. 3. Западный фасад храма
Fig. 3. The western facade of the temple

На высших прогонах ферм располагается второй уровень – косяк настила крыши, а над ним размещается третий, тангенциально ориентированный к центральной точке обрешетки, покрытый «лемехом» из лиственницы. Крыши остальных элементов конструкции выполнены в аналогичном порядке.

Уникальная форма крыши притвора и проемов слуховых окон в алтаре отражает богатые традиции русского зодчества. Эти детали, созданные на основе деревоклееных «жиковин», образуют многослойное покрытие, сочетая в себе эстетическую выразительность и инженерную прочность.

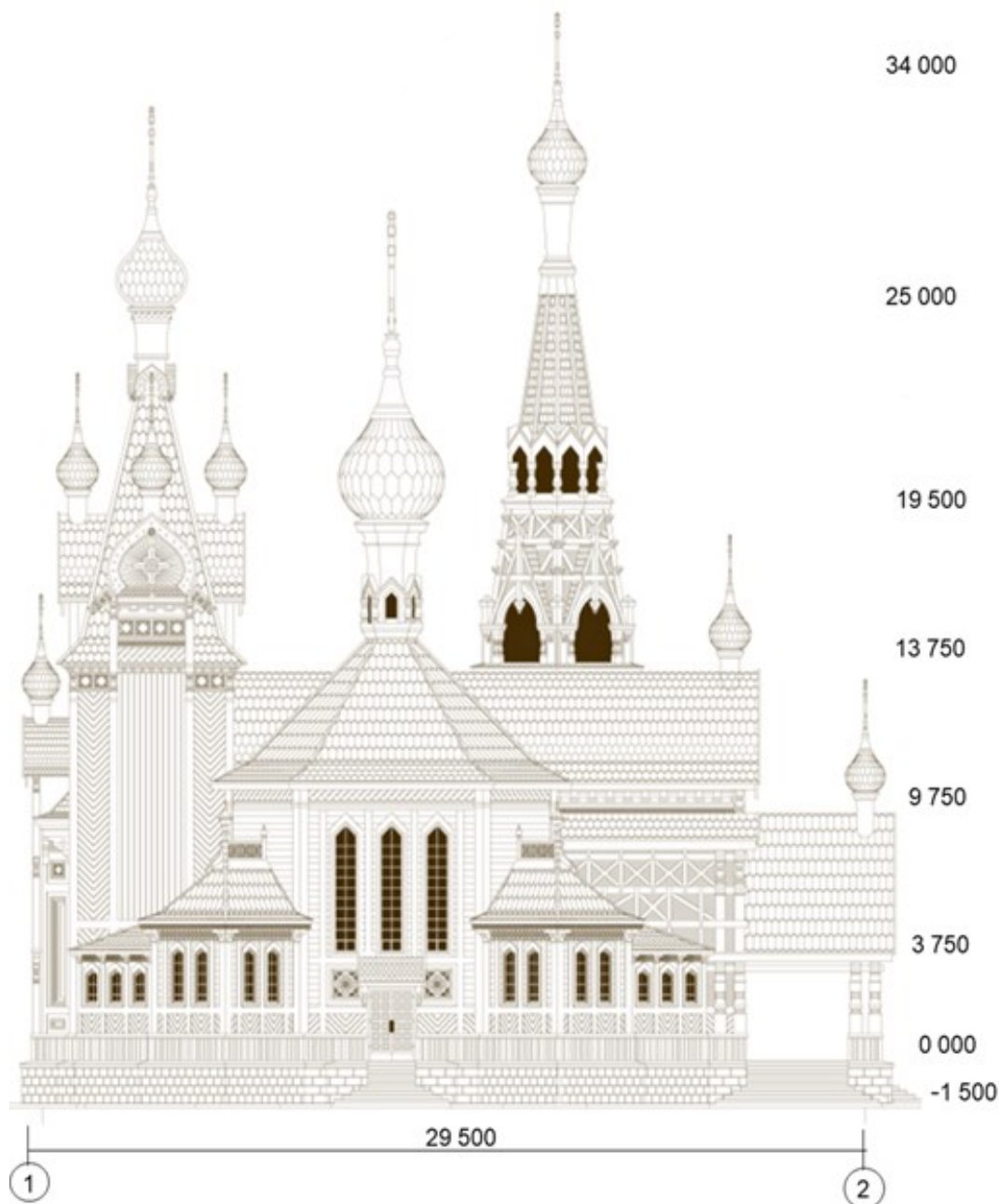


Рис. 4. Южный фасад храма
Fig. 4. The southern facade of the temple

Отдельные элементы фахверка украшены резьбой. Облицовка выполнена из досок, представляющих собой лиственницу.

Основной несущей системой является фахверковая конструкция с заполнением многослойными деревянными панелями.

Каждое покрытие куполов выполнено из «лемеха» на деревянной обрешетке и «жиковинах», что подчеркивает их изящество. Конструкции деревянных крестов, выполненные из лиственницы по индивидуальным эскизам, придают всему ансамблю уникальность.

Каждая деталь здесь находит свое место, создавая утонченное сочетание прочности и эстетики, которое заполняет пространство вокруг (рис. 5, 6).



Рис. 5. Общий вид храма. Макет
Fig. 5. General view of the temple. Layout

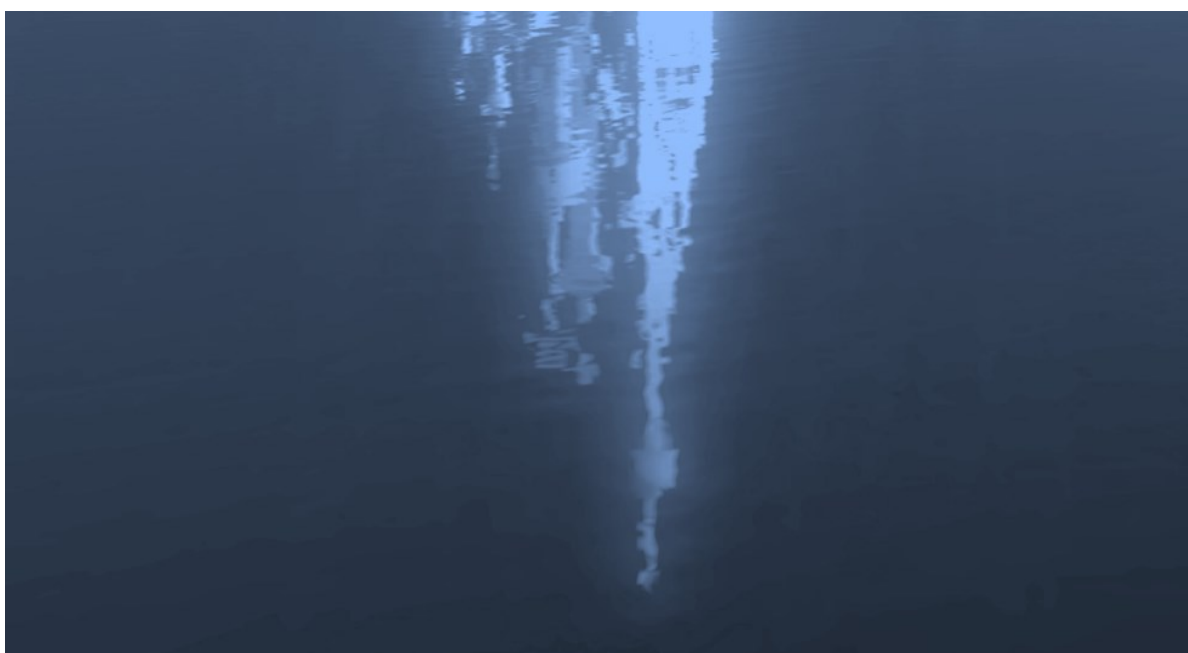


Рис. 6. Вид храма с акватории о. Форелевое. Макет
Fig. 6. View of the temple from the water area of Lake Forelevoe. Layout

ВЫВОДЫ

С использованием результатов научных исследований разработан эскизный проект православного храма в г. Калининграде как объекта деревянного культового зодчества. Были применены эффективные методы многовариантного проектирования и объемного макетирования.

В проекте были использованы каноны православного зодчества, что позволило получить оригинальное объемно-пространственное ре-

шение храма с выразительным силуэтом, органично вписанное в историческую среду древнего города.

В дальнейшем эскизный проект будет прорабатываться на стадии рабочей документации согласно действующим законодательным нормам.

Архитектурно-композиционные приемы решения деревянного православного храма могут быть применены и в других регионах России, а также в зарубежных странах.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Грабарь И.Э. История русского искусства. Допетровская эпоха. М.: И. Кнебель, 1910. 564 с.
2. Забелло С.Я., Иванов В.Н., Максимов П.Н. Русское деревянное зодчество. М.: Государственное архитектурное издательство Академии архитектуры СССР, 1942. Т. 1. 214 с.
3. Ополовников А.В. Русское деревянное зодчество. М.: Искусство. 1986. 310 с.
4. Орфинский В.П. Народное деревянное культовое зодчество Российского Севера: истоки развития // Народное зодчество: сб. науч. трудов. Петрозаводск, 1992. С. 32–62.
5. Орешко А.Н. Применение дерева в архитектуре как способ гуманизации городской среды // Архитектон: известия вузов. 2009. № 26. С. 102–106.
6. Заручевская Е.Б. Плотник Василий Корсаков и его храмы // Деревянное зодчество. Новые исследования и открытия. Вып. 1.: сб. науч. статей. М., СПб.: Коло. 2010. С. 147–163.
7. Севан О.Г. Малые формы деревянной архитектура Русского Севера: ограды, ворота, калитки, подпорные стенки // Проект Байкал. 2013. № 10 (36). С. 88–95. <https://doi.org/10.7480/projectbaikal.36.137>.
8. Бодэ А.Б., Бокарев А.В., Бондаренко И.А., Ходаковский Е.В., Шургин И.Н. Деревянное зодчество. Выпуск IV. Новые материалы и открытия. М., СПб.: Коло, 2015. 352 с.
9. Айдарова-Волкова Г.Н., Айдаров Р.С. Деревянная архитектура прибрежных территорий Казани рубежа XIX–XX веков // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. № 2 (44). С. 7–15. EDN: XQCNFB.
10. Коклюгина Л.А., Коклюгин А.В., Гимранов Л.Р., Никифоров Г.А. Современные технологии возведения многоэтажных деревянных домов // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. № 1 (47). С. 231–238. EDN: PGZCUE.
11. Подковырова Д.К. Использование дерева в архитектуре // Будущее науки – 2019: сб. науч. статей 7-й Междунар. молодежной науч. конф. (г. Курск, 25–26 апреля 2019 г.). Курск, 2019. С. 99–103. EDN: BECJZD.
12. Петтерссон Л. Архитектура деревянных церквей и часовен Заонежья / пер. с фин. Н.А. Гринин, А.П. Коннка, Г.П. Куликова, В.С. Пукиш. М.: Три квадрата, 2020. 544 с.
13. Дементьев Д.А. Особенности развития жилого деревянного зодчества России: Средние века – конец XX века // Архитектура и современные информационные технологии. 2021. № 1 (54). С. 43–61. <https://doi.org/10.24412/1998-4839-2021-1-43-61>. EDN: INWPPE.
14. Верещагин В.С. Применение дерева в современной архитектуре // Инновации. Наука. Образование. 2021. № 34. С. 598–602. EDN: HAUPGQ.
15. Горшкова А.А., Збойкова Н.А. Restoration Of Wooden Landmarks // Избранные доклады 67-й университетской науч.-техн. конф. студентов и молодых ученых (г. Томск, 19–23 апреля 2021 г.). Томск, 2021. С. 625–628. EDN: VVBKND.
16. Дьяков И.А. Дерево в архитектуре // Архитектурные исследования. 2021. № 4 (28). С. 49–56. EDN: CAPBSU.
17. Ходаковский Е.В. Деревянная церковная архитектура русского севера XIX – начала XX в.: метаморфозы традиции. СПб.: Коло, 2021. 264 с.
18. Philip J. Homes for Our Time 2. Contemporary Houses around the World. Cologne: Taschen, 2022. 464 p.
19. Сахарова С.Е., Ситникова Е.В. Графическая реконструкция деревянной церкви во имя святого пророка Ильи в с. Новоильинка Колпашевского района Томской области // Избранные доклады 68-й университетской науч.-техн. конф. студентов и молодых ученых (г. Томск, 19–23 апреля 2022 г.). Томск, 2022. С. 417–421. EDN: HQJQEY.
20. Одинец В.Ю., Абракова Т.А. Национальные мотивы в деревянной архитектуре нижнего Новгорода // Актуальные вопросы этнографии и этногеографии. Сб. статей по материалам VI Всеросс. студенческой науч.-практ. конф. (г. Нижний Новгород, 29 апреля 2022 г.). Нижний Новгород, 2022. С. 44–48. EDN: GSGOLY.

21. Круглых А.В. Развитие у обучающихся навыков проектной деятельности на основе изучения традиций народного зодчества // Музыкально-эстетическое и художественное образование: опыт, традиции, инновации. Материалы Междунар. науч.-практ. конф. (студенческие доклады) (г. Елец, 26 октября 2022 г.). Елец, 2022. С. 56–59. EDN: QHBLRZ.
22. Ходаковский Е.В., Щеглова Ю.А. Деревянное церковное зодчество Онежского Поморья: источниковедческий и историографический аспекты // Актуальные проблемы теории и истории искусства. 2022. Т. 12. С. 282–291. <https://doi.org/10.18688/aa2212-04-20>. EDN: VTIBPV.
23. Литвинов Д.В., Яшина А.В. Восстановление деревянного храма покрова Пресвятой Богородицы в с. Герасимовка // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Архитектура и градостроительство. Сб. статей 80-ой юбилейной Всеросс. науч.-техн. конф. (г. Самара, 17–22 апреля 2023 г.). Самара, 2023. С. 739–750. EDN: UDYVZK.
24. Сахарова С.Е., Ситникова Е.В. Деревянное церковное строительство в Томской губернии во второй половине XIX – начале XX века // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 2. С. 9–23. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2023-25-2-9-23>. EDN: FWPPAW.
25. Овсянникова Е.Б., Васильев Н.Ю. Деревянная Москва эпохи ампира. По материалам архитектора Н.Д. Виноградова. М.: Кучково поле Музеон, 2023. 328 с.
26. Чебан А.Н., Мячин А.П. Исторические и современные методы сохранения деревянного зодчества // Архитектура и современные информационные технологии. 2023. № 4 (65). С. 134–145. <https://doi.org/10.24412/1998-4839-2023-4-134-145>. EDN: QXXDJH.
27. Ходаковский Е.В. Деревянное храмообразование Русского Севера Петровской эпохи // Актуальные проблемы теории и истории искусства. 2023. Т. 13. С. 317–326. <https://doi.org/10.18688/aa2313-3-25>. EDN: GUPBFG.
28. Ковалев А.С. Преимущества дерева в архитектуре // Актуальные исследования. 2023. № 16-1. С. 49–53. EDN: TDSIGJ.
29. Вякина А.А., Канева А.М., Маракулина С.П., Кошкин А.К. Энергосберегающие аспекты в деревянном строительстве // Перспективы развития лесного комплекса. Сб. науч. трудов Междунар. науч.-практ. конф. (г. Брянск, 18–19 декабря 2023 г.). Брянск, 2023. С. 136–139. EDN: SKAUAG.
30. Ходаковский Е.В. Деревянное храмовое зодчество Каргополья и Поонежья XVII–XVIII веков // Вестник Санкт-Петербургского университета. Искусствоведение. 2024. Т. 14. № 3. С. 561–580. <https://doi.org/10.21638/spbu15.2024.307>. EDN: IVKXTW.
31. Кузнецова Е.А. Практики взаимодействия с архитектурным наследием: деревянные храмы на русском севере и волонтерские проекты // Вестник антропологии. 2024. № 1. С. 106–115. <https://doi.org/10.33876/2311-0546/2024-1/106-115>. EDN: MALAXS.
32. Фомина Д.С. Современный опыт использования древесины как строительного материала // Молодежь и системная модернизация страны. Сборник науч. ст. 8-й Междунар. науч. конф. студентов и молодых ученых (г. Курск, 16–17 мая 2024 г.). Курск, 2024. С. 526–529. EDN: VXLKYC.

REFERENCES

- Grabar' I.E. *History of Russian Art. Pre-Petrine Era*. Moscow: I. Knebel, 1910. Vol. 1. 564 p. (In Russ.).
- Zabello S.Ya., Ivanov V.N., Maksimov P.N. *Russian Wooden Architecture*. Moscow: State Architectural Publishing House of the USSR Academy of Architecture, 1942. 214 p. (In Russ.).
- Opolovnikov A.V. *Russian Wooden Architecture*. Moscow: Art. 1986. 310 p. (In Russ.).
- Orfinskii V.P. Folk Wooden Religious Architecture of the Russian North: Origins of Development. In: *Folk Architecture: Collection of Scientific Works*. Petrozavodsk, 1992. p. 32–62. (In Russ.).
- Oreshko A.N. The Use of Wood in Architecture as A Way to Humanize the Urban Environment. *Arkhitckton: izvestiya vuzov*. 2009;26:102-106. (In Russ.).
- Zaruchevskaya E.B. Carpenter Vasily Korsakov and His Temples. In: *Wooden Architecture. New Research and Discoveries. Vol. 1.: Collection of Scientific Articles*. Moscow, Saint Petersburg: Kolo. 2010. p. 147–163. (In Russ.).
- Sevan O.G. Small Forms of Wooden Architecture of the Russian North: Fences, Gates, Wicket Doors and Retaining Walls. *Project Baikal*. 2013;10(36):88-95. (In Russ.). <https://doi.org/10.7480/projectbaikal.36.137>.
- Bode A.B., Bokarev A.V., Bondarenko I.A., Khodakovskii E.V., Shurgin I.N. *Wooden Architecture. Issue IV. New Materials and Discoveries*. Moscow, Saint Petersburg: Kolo, 2015. 352 p.
- Aidarova-Volkova G.N., Aidarov R.S. Wooden Architecture of the Coastal Areas of Kazan at The Turn of The 19-20th Centuries. *News of the Kazan State University of Architecture and Engineering*. 2018;2(44):7-15. (In Russ.). EDN: QQCNEB.
- Koklyugina L.A., Koklyugin A.V., Gimranov L.R., Nikiforov G.A. Modern Technology of Construction of Multi-Storey Wooden Houses. *News of the Kazan State University of Architecture and Engineering*. 2019;1(47):231-238. (In Russ.). EDN: PGZCUE.

11. Podkovyrova D.K. Use of Wood in Architecture. In: *Budushchee nauki – 2019: sbornik nauchnykh statei 7-i Mezhdunarodnoi molodezhnoi nauchnoi konferentsii = The Future of Science – 2019: Collection of Scientific Articles of The 7th International Youth Scientific Conference*. 25–26 April 2019, Kursk. Kursk; 2019. p. 99–103. (In Russ.). EDN: BECJZD.
12. Pettersson L. Architecture of Wooden Churches and Chapels in Zaonezhie, 2020. 544 p. (Russ. ed.: *Arkhitectura derevyannykh tserkvei i chasoven Zaonezh'ya*. Moscow: Three squares; 2020. 544 p.)
13. Dementev D.A. Some Features of Russian Residential Wooden Architecture Development: From Middle Ages to The End of The 20th Century. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2021;1(54):43-61. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/1998-4839-2021-1-43-61>. EDN: INWPPE.
14. Vereshchagin V.S. The Use of Wood in Modern Architecture. *Innovatsii. Nauka. Obrazovanie*. 2021;34:598-602. (In Russ.). EDN: HAUPGQ.
15. Gorshkova A.A., Zboikova N.A. Restoration of Wooden Landmarks. In: *Izbrannye doklady 67-i universitetskoj nauchno-tekhnicheskoi konferentsii studentov i molodykh uchenykh = Selected Reports of The 67th University Scientific and Technical Conference of Students and Young Scientists*. 19–23 April 2021, Tomsk. Tomsk; 2021. p. 625–628. (In Russ.). EDN: VVBKHD.
16. Dyakov I.A. Tree in Architecture. *Arkhitekturnye issledovaniya*. 2021;4(28):49-56. (In Russ.). EDN: CAPBSU.
17. Khodakovskii E.V. *Wooden Church Architecture of the Russian North of The 19th – Early 20th Centuries: Metamorphoses of Tradition*. Saint Petersburg: Kolo, 2021. 264 p. (In Russ.).
18. Philip J. *Homes for Our Time 2. Contemporary Houses around the World*. Cologne: Taschen, 2022. 464 p.
19. Sakharova S.E., Sitnikova E.V. Graphic Reconstruction of a Wooden Church in The Name of the Holy Prophet Elijah in The Village. Novoilinka, Kolpashevsky District, Tomsk Region. In: *Izbrannye doklady 68-i universitetskoj nauchno-tekhnicheskoi konferentsii studentov i molodykh uchenykh = Selected reports of the 68th University Scientific and Technical Conference of Students and Young Scientists*. 19–23 April 2022, Tomsk. Tomsk; 2022. p. 417–421. (In Russ.). EDN: HQJQEY.
20. Odinets V.Yu., Abrakova T.A. National Motifs in Wooden Architecture of Nizhny Novgorod. In: *Aktual'nye voprosy etnografii i etnogeografii. Sbornik statei po materialam VI Vserossiiskoi studencheskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Current Issues in Ethnography and Ethnogeographies. Collection of Articles Based On Materials from The VI All-Russian Student Scientific and Practical Conference*. 29 April 2022, Nizhny Novgorod. Nizhny Novgorod; 2022. p. 44–48. (In Russ.). EDN: GSGOLY.
21. Kruglykh A.V. Development of Students' Project Activity Skills Based On the Study of Traditions Folk Architecture. In: *Muzykal'no-esteticheskoe i khudozhestvennoe obrazovanie: opyt, traditsii, innovatsii. Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (studencheskie doklady) = Musical, Aesthetic and Artistic Education: Experience, Traditions, Innovations. Materials of The International Scientific and Practical Conference (Student Reports)*. 26 October 2022, Elets. Elets; 2022. p. 56–59. (In Russ.). EDN: QHBLRZ.
22. Khodakovskiy E.V., Shcheglova Yu.A. Architectural Heritage of the Onega Gulf of the White Sea: The History of Study and Actual Problems of Research. *Actual Problems of Theory and History of Art*. 2022;12:282-291. (In Russ.). <https://doi.org/10.18688/aa2212-04-20>. EDN: BTIBPV.
23. Litvinov D.V., Yashina A.V. Restoration of The Wooden Church of the Intercession of the Most Holy Theotokos in The Village of Gerasimovka. In: *Traditsii i innovatsii v stroitel'stve i arkhitekte. Arkhitectura i gradostroitel'stvo. Sbor-nik statei 80-oi yubileinoi Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii = Traditions and Innovations in Construction and Architecture. Architecture and Urban Planning. Collection of Articles of The 80th Anniversary All-Russian Scientific and Technical Conference*. 17–22 April 2023, Samara. Samara; 2023. p. 739–750. (In Russ.). EDN: UDYVZK.
24. Sakharova S.E., Sitnikova E.V. Wooden Church Construction in Tomsk Province Late in The 19th and Early 20th Centuries. *Journal of Construction and Architecture*. 2023;25(2):9-23. (In Russ.). <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2023-25-2-9-23>. EDN: FWPPAW.
25. Ovsyannikova E.B., Vasil'ev N.Yu. *Wooden Moscow of the Empire Era. Based On Materials from Architect N.D. Vinogradova*. Moscow: Kuchkovo field Muzeon, 2023. 328 p. (In Russ.).
26. Cheban A.N., Myachin A.P. Historical and Modern Methods of Preservation of Wooden Architecture. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2023;4(65):134-145. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/1998-4839-2023-4-134-145>. EDN: QXXDJH.
27. Khodakovskiy E.V. Wooden Church Architecture of the Russian North in The Petrine Epoch. *Actual Problems of Theory and History of Art*. 2023;13:317-326. (In Russ.). <https://doi.org/10.18688/aa2313-3-25>. EDN: GUPBFG.
28. Kovalev A.S. Advantages of Wood in Architecture. *Aktual'nye issledovaniya*. 2023;16-1:49-53. (In Russ.). EDN: TDSIGJ.
29. Vyakina A.A., Kaneva A.M., Marakulina S.P., Koshkin A.K. Energy Saving Aspects in Wooden Construction. In: *Perspektivy razvitiya lesnogo kompleksa. Sbornik nauchnykh trudov Mezhdunarodnoi nauchno-prak-*

ticheskoi konferentsii = Prospects for The Development of the Forestry Complex. Collection of Scientific Papers of the International Scientific and Practical Conference. 18–19 December 2023, Bryansk. Bryansk; 2023. p. 136–139. (In Russ.). EDN: SKAUAG.

30. Khodakovskiy E.V. Wooden Church Architecture of Kargopol and The River Onega Areas in 17th-18th Centuries. *Vestnik of Saint Petersburg University. Arts.* 2024;14(3):561-580. (In Russ.). <https://doi.org/10.21638/spbu15.2024.307>. EDN: IVKXTW.

31. Kuznetsova E.A. Practices of Interaction with Architectural Heritage: Wooden Churches in The Russian North and Volunteer Projects. *Herald of Anthropology.* 2024;1:106-115. (In Russ.). <https://doi.org/10.33876/2311-0546/2024-1/106-115>. EDN: MALAXS.

32. Fomina D.S. Modern Experience of Using Wood as A Building Material. In: *Molodezh' i sistemnaya modernizatsiya strany. Sbornik nauchnykh statei 8-i Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii studentov i molodykh uchenykh = Youth and Systemic Modernization of the Country. Collection of Scientific Articles of The 8th International Scientific Conference of Students and Young Scientists.* 16–17 May 2024, Kursk. Kursk; 2024. p. 526–529. (In Russ.). EDN: VXLKYC.

Информация об авторах**Шабиев Салават Галиевич,**

доктор архитектуры, профессор,
заведующий кафедрой архитектуры,
заслуженный работник высшей школы
Российской Федерации,
почетный архитектор России,
Южно-Уральский государственный университет,
454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76,
Россия,
✉e-mail: shabievsg@susu.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9405-2079>
Author ID: 476175

Квач Виталий Александрович,

доцент кафедры архитектуры,
член Союза архитекторов России,
Южно-Уральский государственный университет,
454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76,
Россия,
e-mail: kvachva@susu.ru
<https://orcid.org/0009-0003-1010-3513>

Моисеева Екатерина Дмитриевна,

студент,
Южно-Уральский государственный университет,
454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76, Россия,
e-mail: katym0802@inbox.ru
<https://orcid.org/0009-0001-5893-408x>

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**Salavat G. Shabiev,**

Doctor of Architecture, Professor,
Head of the Department of Architecture,
Honored Worker of the Higher School
of the Russian Federation,
Honorary Architect of Russia,
South Ural State University,
76 Lenin Pr., Chelyabinsk 454080,
Russia,
✉e-mail: shabievsg@susu.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9405-2079>
Author ID: 476175

Vitaly A. Kvach,

Associate Professor of the Department
of Architecture,
Member of the Union of Architects of Russia,
South Ural State University,
76 Lenin Pr., Chelyabinsk 454080, Russia
e-mail: kvachva@susu.ru
<https://orcid.org/0009-0003-1010-3513>

Ekaterina D. Moiseeva,

Student,
South Ural State University,
76 Lenin Pr., Chelyabinsk 454080, Russia,
e-mail: katym0802@inbox.ru
<https://orcid.org/0009-0001-5893-408x>

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 28.06.2024.
Одобрена после рецензирования 22.07.2024.
Принята к публикации 23.07.2024.

Information about the article

The article was submitted 28.06.2024.
Approved after reviewing 22.07.2024.
Accepted for publication 23.07.2024.

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

Мы приглашаем Вас к участию в нашем журнале в качестве авторов, рекламодателей, читателей и сообщаем требования к статьям, принимаемым к публикации.

Журнал «Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость» публикует научные статьи и обзоры российских и зарубежных ученых, в том числе докторантов и аспирантов, содержащие новые результаты научных исследований.

Тематический охват соответствует утвержденной номенклатуре научных специальностей:

- 2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки);
- 2.1.2. Основания и фундаменты, подземные сооружения (технические науки);
- 2.1.3. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение (технические науки);
- 2.1.4. Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов (технические науки);
- 2.1.5. Строительные материалы и изделия (технические науки);
- 2.1.6. Гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология (технические науки);
- 2.1.7. Технология и организация строительства (технические науки);
- 2.1.8. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей (технические науки);
- 2.1.9. Строительная механика (технические науки);
- 2.1.10. Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства (технические науки);
- 2.1.11. Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия (архитектура);
- 2.1.12. Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности (архитектура);
- 2.1.13. Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов (архитектура)
- 2.1.14. Управление жизненным циклом объектов строительства (технические науки)
- 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика (экономические науки)
- 5.2.6. Менеджмент (экономические науки)

Представляемая в журнал работа должна быть законченным научным исследованием и содержать новые научные результаты, нигде ранее не публиковавшиеся и не представленные к публикации в других изданиях.

Статьи должны быть выполнены на высоком научном уровне и содержать результаты исследований по соответствующей проблематике. Рукопись, присылаемая в редакцию, должна соответствовать тематике журнала и требованиям редакции к оформлению рукописей.

1. Материалы, представляемые авторами в редакцию:

- Статья в печатном виде и идентичном варианте в электронной форме (с расширением *.docx и *.pdf);
- Иллюстрации к статье (рисунки, графики и т.д.) в электронном виде (в формате jpg);
- Авторское заявление;
- Сопроводительное письмо;
- Договор;
- Экспертное заключение.

2. Рукопись должна быть построена следующим образом:

- **Шифр УДК;**
- **Название статьи;**
- **Информация об авторах:** фамилия, имя, отчество; название учреждения;
- **Реферат (аннотация)** – количество слов – 190;
- **Ключевые слова** – (4–6);
- **Библиографические ссылки** должны быть оформлены в соответствии с ГОСТ Р7.05 2008.
- **Критерии авторства, конфликт интересов;**
- **Сведения об авторах:** фамилия, имя, отчество (полностью); ученая степень, звание и должность; название учреждения, его адрес с индексом; e-mail; ORCID, ID.
- **Название рубрики**, в которой должна быть размещена статья.

3. Рекомендации по набору и оформлению текста

Параметры страницы и абзаца: отступы сверху и снизу – 2 см; слева и справа – 2 см; табуляция – 0,6 см; ориентация – книжная;

Шрифт – *Arial*, размер – 10,5, межстрочный интервал – одинарный, перенос слов – автоматический.

При вставке формул использовать *Microsoft Equation 3* при установках: элементы формулы выполняются – курсивом; для греческих букв и символов назначать шрифт *Symbol*, для остальных элементов – *Arial*.

Размер символов: обычный – 12 пт, крупный индекс – 7 пт, мелкий индекс – 5 пт, крупный символ – 18 пт, мелкий символ – 12 пт. Все экспликации элементов формул необходимо также выполнять в виде формул.

Рисунки, вставленные в текст, должны быть выполнены с разрешением 300 dpi, *B&W* – для черно-белых иллюстраций, *Grayscale* – для полутонов, максимальный размер рисунка с надписью: ширина 170 мм, высота 245 мм. Рисунки должны быть представлены в виде файла с расширением *.BMP, *.TIFF, *.JPG, должны допускать перемещение в тексте и возможность изменения размеров. Схемы, графики выполняются во встроенной программе *MS Word* или в *MS Excel*, с приложением файлов.

Для построения графиков и диаграмм следует использовать программу *Microsoft Office Excel*. Каждый рисунок вставляется в текст как объект *Microsoft Office Excel*.

Внимание! Публикация статьи является бесплатной.

Для авторов / For authors

Статьи направляются в редакцию журнала по электронной почте izv_isn@istu.edu.

Рукописи статей и оригиналы всех необходимых документов предоставляются по адресу: 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, редакционный отдел, ауд. Д-215, О.В. Никишиной

Телефон: (3952) 40-56-11, с.т.: 8 964 656 46 70 – Никишина Ольга Валерьевна, ответственный за выпуск,

(3952) 40-52-74 – Маркина Ирина Павловна, редактор.

**ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ
ИНВЕСТИЦИИ. СТРОИТЕЛЬСТВО. НЕДВИЖИМОСТЬ**

Научный журнал

12+

Том 14 № 4 (51)

Главный редактор В.В. Пешков
Ответственный за выпуск О.В. Никишина
Дизайн и макет издания Е.В. Хохрина
Перевод Томаса Бивитта, Н.Г. Поповой, О.В. Никишиной
Верстка О.В. Никишиной
Редактор И.П. Маркина

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

Выход в свет 23.12.2024. Формат 60 x 90 / 8 (А4).
Бумага офсетная. Печать цифровая. Усл. печ. л. 22,50.
Тираж 500 экз. Зак. 88. Поз. плана бн.

Издание распространяется бесплатно

ФГБОУ ВО "Иркутский национальный исследовательский технический университет"
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

Отпечатано в типографии Издательства
ФГБОУ ВО "Иркутский национальный исследовательский технический университет"
Адрес типографии: 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83А



ВЫСШАЯ
АТТЕСТАЦИОННАЯ КОМИССИЯ (ВАК)
Министерства образования и науки Российской Федерации



РОССИЙСКИЙ ИНДЕКС
НАУЧНОГО ЦИТИРОВАНИЯ
Science Index



CYBERLENINKA

OPEN  ACCESS



INDEX  COPERNICUS
INTERNATIONAL

Google Scholar



АНРИ

Ассоциация научных
редакторов и издателей

