

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

12+



IZVESTIYA VUZOV
Investitsii
Stroitelstvo
Nedvizhimost

ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ
ИНВЕСТИЦИИ
СТРОИТЕЛЬСТВО
НЕДВИЖИМОСТЬ

Том 12 № 4
2022

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 12 № 4
Vol.



ИЗДАТЕЛЬСТВО
Иркутского национального исследовательского
технического университета

PUBLISHERS
of Irkutsk National Research Technical University
2022



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; Технические науки. Строительство; Архитектура. 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; Technical sciences, Construction; Architecture, 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., главный редактор, доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой экспертизы и управления недвижимостью Иркутского национального исследовательского технического университета (г. Иркутск, Российская Федерация)

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

Афанасьев А. А., доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РААСН, профессор кафедры строительного производства Национального исследовательского Московского государственного строительного университета (г. Москва, 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)

Вальтер Фогт, доктор технических наук, специалист по планированию транспорта Университета 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)

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, доцент, профессор кафедры экспертизы и управления недвижимостью Иркутского национального исследовательского технического университета (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)

Нечаев А. С., доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой экономики и цифровых бизнес-технологий Иркутского национального исследовательского технического университета (г. Иркутск, Российская Федерация)

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

Сетогуту 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, член-корреспондент РАН, директор Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, председатель научно-экспертного совета по энергоэффективности (г. Иркутск, Российская Федерация)

Урханова Л. А., доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой производства строительных материалов и изделий Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления (г. Улан-Удэ, 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)

Хомкалов Г. В., доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры экономики и управления инвестициями и недвижимостью Байкальского государственного университета (г. Иркутск, 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, Институт отраслевого менеджмента, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации (г. Москва, Российская Федерация)

EDITORIAL BOARD

Peshkov V. V., Editor-in-Chief, 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., Deputy Editor-in-Chief, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Urban Development and Municipal Economy of Irkutsk National Research Technical University (Irkutsk, Russian Federation)

Afanasiev A. A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding member of RAACS, Professor of National Research Moscow State Construction University (Moscow, 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)

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)

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 (Wrocław, 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, Russian Federation)

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)

Nechaev A. S., Doctor of Economic Sciences, Professor, Head of the Department of Economics and digital business technologies of Irkutsk National Research Technical University (Irkutsk, Russian Federation)

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, 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)

Khomkalov G. V., Doctor of Economical Sciences, Professor, Professor of the Department of Economics and Management of Investment and Real Estate, Baikal State University (Irkutsk, 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, Head of the Department of Investment and Construction Business, Institute of Industry Management, The Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (Moscow, Russian Federation)

СОДЕРЖАНИЕ

Известия вузов
Инвестиции. Строительство. Недвижимость

Том 12 № 4 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Дедюхина Е. С. Проблемы использования инновационных методов определения сметной стоимости строительных работ	484
Кудрявцева В. А., Никишина О. В. Цифровая трансформация как фактор устойчивого развития строительного комплекса	492
Павельева Э. Ю., Пузыня Н. Ю. Особенности частного инвестирования в объекты жилой недвижимости в России	501
Петров П. А., Хохлова Н. С. Влияние концепции «Умный город» на инвестиционную привлекательность города	512

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. СТРОИТЕЛЬСТВО

Бадмаева И. А., Волкова Е. В. Технологии информационного моделирования объектов дорожного строительства	521
Вурдова Н. Г., Юрьев Ю. Ю. Инвестиционный проект создания замкнутых водооборотных циклов на промышленном предприятии	529
Дорофеева Н. Л., Бабик А. В. Влияние антропогенных факторов на качество байкальской воды	539
Душин А. С. Определение приоритетных направлений по обеспечению надежной и эффективной работы существующих систем подачи и распределения воды	546
Захаров С. В., Лушпей В. П., Ибрагимова А. В., Янь Вэйна, Цзан Нань. Экономические, экологические и технические особенности проектирования автомобильных дорог в условиях линзовых (островных) мерзлот	560
Кармазинов Д. А., Дмитриева Т. Л. Вероятностный анализ распределения пиковой интенсивности землетрясений на примере г. Иркутска	570
Комаров А. К., Розина В. Е., Шустов П. А. Организационно-технологические мероприятия по экономии ресурсов и энергосбережению в процессе проектирования и строительства в зимний период	579
Наумов И. В. О выборе допустимых сечений проводникового материала внутренних электрических сетей при строительстве индивидуальных домовладений	589
Рудых Л. Г. Особенности малоэтажного строительства Восточной Сибири	600
Чупин В. Р., Йоше А. К. Оценка сезонного водного баланса бассейна реки Абай в Эфиопии с использованием спутниковых баз данных и специализированной гидрологической модели	606

АРХИТЕКТУРА. ДИЗАЙН

Майновская А. К., Прокудин А. Н. Сохранение культурных объектов и историко-культурного потенциала архитектурно-градостроительного наследия г. Иркутска как фактор развития туристической отрасли региона	617
Пуляевская Е. В. Территориальное планирование и управление системой сельского расселения Восточной Сибири XIX – начала XX вв.	624
Тарасова А. Н., Захарчук М. Г. Организация пространства библиотеки ИРНТУ в аспекте реновации образовательной среды	639

CONTENTS

Proceedings of Universities Investment. Construction. Real estate

Том 12 № 4 2022

CONTENTS

ECONOMICS AND MANAGEMENT

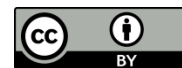
Dediukhina E. S. Challenges of using innovative methods for determining the estimated cost of construction works	484
Kudryavtseva V. A., Nikishina O. V. Digital transformation as a factor in sustainable construction industry development	492
Paveleva E. Yu., Puzynya N. Yu. Specifics of private investment in residential real estate in Russia	501
Petrov P. A., Khokhlova N. S. Impact of "Smart City" concept on the investment potential of a city	512

TECHNICAL SCIENCES. CONSTRUCTION

Badmaeva I. A., Volkova E. V. Information modelling of road facilities	521
Vurdova N. G., Yuriev Yu. Yu. Investment project for implementing a closed water circulation system at an industrial company	529
Dorofeeva N. L., Babik A. V. Anthropogenic influence on water quality of Lake Baikal	539
Dushin A. S. Identification of priority areas for ensuring reliable and efficient operation of existing water supply and distribution systems	546
Zakharov S. V., Lushpey V. P., Ibragimova A. V., Yan Weina, Zang Nan. Economic, environmental and technical design characteristics of highways under permafrost (insular) conditions	560
Karmazinov D. A., Dmitrieva T. L. Probabilistic analysis of peak intensity distribution of earthquakes on an example of Irkutsk	570
Komarov A. K., Rozina V. E., Shustov P. A. Administrative and technological measures to save resources and energy during design and construction in winter	579
Naumov I. V. On the choice of allowable cross-sections of conductor material in internal electrical networks when building individual households	589
Rudykh L. G. Characteristics of low-rise construction in Eastern Siberia	600
Chupin V. R., Yoshe A. K. Seasonal water balance of the Abay River Basin assessed using satellite databases and a specialized hydrological model	606

ARCHITECTURE. DESIGN

Mainovskaya A. K., Prokudin A. N. Irkutsk's architectural and urban heritage: preservation of its cultural sites and historical-cultural potential as a factor in regional tourism development	617
Pulyaevskaia E. V. Regional planning and management of rural settlements in Eastern Siberia in 19th – early 20th centuries	624
Tarasova A. N., Zakharchuk M. G. Spatial organisation in the INRTU library with respect to renovation of educational environment	639



Проблемы использования инновационных методов определения сметной стоимости строительных работ

Екатерина Сергеевна Дедюхина

Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия,
ded_es@mail.ru

Аннотация. В целях повышения точности расчетов сметной стоимости строительства Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации реализуется реформа системы ценообразования в строительстве, направленная на переход к ресурсному методу расчета сметной стоимости. Цель – выявить возникшие при реализации данной реформы проблемы, оказывающие влияние на точность определения сметной стоимости строительных работ, для чего было проанализировано текущее состояние системы ценообразования в строительной отрасли Иркутской области. В точном определении стоимости строительства и капитального ремонта на каждом из этапов жизненного цикла проекта заинтересованы все участники инвестиционной деятельности в строительстве, поскольку неточность расчетов при определении сметной стоимости для инвесторов негативно сказывается на процессе финансового планирования, а для производителей работ может привести к снижению эффективности их деятельности и, как следствие, снижению качества работ. В результате исследования выявлены проблемы и описаны их возможные последствия. Наряду с этим произведен сравнительный анализ сметной стоимости ремонтных работ и работ по демонтажу зданий, рассчитанной различными методами, а также расчет упущенной стоимости транспортировки материалов для строительства школы искусств в Иркутской области. На основании полученных результатов сделаны выводы о недостатках в определении сметной стоимости строительства, а также внесены предложения по усовершенствованию инновационных методик расчета сметной стоимости.

Ключевые слова: сметная стоимость, ценообразование в строительстве, капитальный ремонт зданий, собственные числа, инновационные механизмы, реформа системы ценообразования

Для цитирования: Дедюхина Е. С. Проблемы использования инновационных методов определения сметной стоимости строительных работ // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 4. С. 484–491. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-484-491>.

Original article

Challenges of using innovative methods for determining the estimated cost of construction works

Ekaterina S. Dediukhina

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia,
ded_es@mail.ru

Abstract. In order to improve the accuracy of estimated construction costs, a reform of the pricing policy in construction is being implemented by the Ministry of Construction, Housing and Utilities of the Russian Federation aimed at introducing the input method of estimated cost calculation. Therefore, the current state of pricing in the construction industry of the Irkutsk region was analysed in this work. It is the accurate determination of construction and overhaul costs at each stage of the project that is essential for all parties involved in investment activities, since inaccurate calculations have a negative impact on the financial planning by investors and can lead to a decrease in the efficiency of the activities and, consequently, a decrease in the quality of work by contractors. Here, problems, along with their possible consequences, are identified and described. In addition, the estimated cost of maintenance and demolition activities calculated by different methods was compared; the opportunity cost of transporting materials for the construction of an art school in the Irkutsk region was calculated. Using the obtained

results, the disadvantages of determining the estimated cost of construction were highlighted. Suggestions for improving the innovative methods of calculating the estimated cost were offered.

Keywords: estimated cost, pricing in construction, major repairs of buildings, own numbers, innovative mechanisms, reform of the pricing system

For citation: Dediukhina E. S. Challenges of using innovative methods for determining the estimated cost of construction works. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(4):484-491. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-484-491>.

ВВЕДЕНИЕ

Точность и достоверность определения стоимости строительства, капитального ремонта и реконструкции объектов капитального строительства (далее – сметной стоимости) в последние десятилетия становится очень актуальной проблемой и не только в нашей стране [1]. Это связано с многообразием источников финансирования строительных работ, изменениями форм и методов заключения контрактов между инвесторами и производителями работ на договорной основе [2, 3].

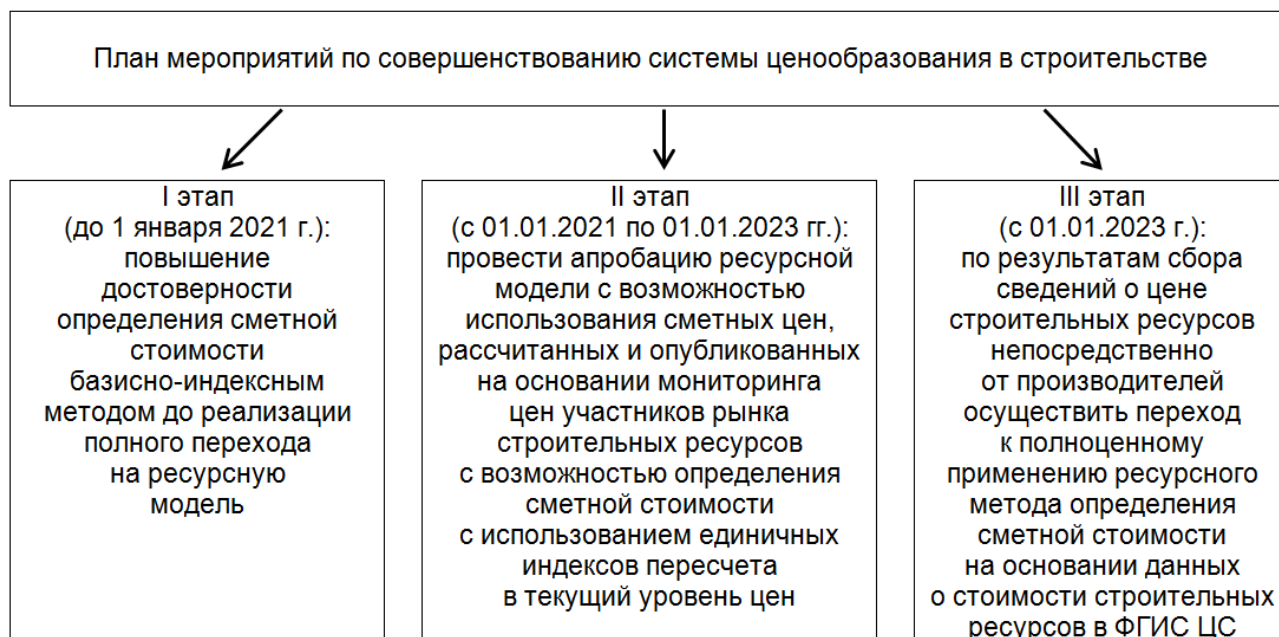
Абсолютно все участники инвестиционной деятельности в строительстве заинтересованы в максимально точном определении затрат на строительство и капитальный ремонт на всех жизненных этапах проекта [4, 5]. Это связано с тем, что низкая точность расчетов при определении сметной стоимости для инвесторов негативно сказывается на процессе финансового планирования, для производителей работ неточность расчетов может привести к снижению эффективности их деятельности. При этом занижение сметной стоимости на этапе определения договорной цены неизбежно ведет к снижению качества работ, что негативно влияет на деятельность всех сторон строительного процесса [6–8]. Для решения проблемы повышения точности расчетов сметной стоимости в 2016 г. под руководством Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ (Минстрой РФ) начата реформа системы ценообразования в строительстве, которая должна была завершиться к 2018 г. [9, 10].

Целью реформы является переход на ресурсный метод определения сметной стоимости. Очевидно, что с первоначальной задачей Минстрой не справился, процесс внедрения ресурсной модели определения сметной стоимости затянулся, и теперь окончание ре-

формы прогнозируется к 2023 г. На данный момент реализуется план мероприятий по совершенствованию ценообразования в строительной отрасли РФ, представленный на рисунке. В рамках реализации реформы Минстрой выпустил вторую редакцию сметно-нормативной базы для определения сметной стоимости, выпущено несколько новых методических документов, в том числе новая методика определения сметной стоимости строительства, реконструкции, капитального ремонта, сноса объектов капитального строительства, работ по сохранению объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов РФ, утвержденная приказом от 4 августа 2020 г. № 421/пр¹ [11]. Не смотря на принимаемые Минстроем меры, последние три года при определении сметной стоимости для объектов бюджетного финансирования во многих регионах страны применяется расчет с низкой точностью, что приводит к снижению качества строительных работ, к низкой эффективности деятельности подрядных организаций и сложностям в поисках исполнителей работ [12]. В Иркутской области в связи с большой удаленностью населенных пунктов от областного центра, низкой обеспеченностью строительными материалами этих районов, озвученные проблемы стоят особо остро. Недопустимо в процессе перехода на более совершенную инновационную модель определения сметной стоимости несколько лет в отрасли применять модели расчета, дающие недостоверный результат.

Целью нашего исследования является выявление проблем, влияющих на достоверность сметной стоимости для объектов бюджетного финансирования, находящихся в Иркутской области, а также предложения вариантов их решения.

¹Об утверждении Методики определения сметной стоимости строительства, реконструкции капитального ремонта, сноса объектов капитального строительства, работ по сохранению объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации на территории Российской Федерации: приказ Минстроя России от 4 августа 2020 г. № 421/пр // Кодекс.ру [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/565649004> (17.10.2022).



Мероприятия по реформированию системы ценообразования в строительстве
Measures to reform the pricing system in construction

Оптимизация применяемых методов расчета сметной стоимости в данное время направлена на ее снижение, как фактор экономии бюджетных средств, т. е. в большей степени от сложившейся ситуации пострадали производители работ. Но, в конечном итоге, заниженная стоимость строительства и для заказчика имеет отрицательный эффект, так как страдает качество работ, что влечет за собой увеличение затрат на содержание объ-

екта в процессе эксплуатации. В результате от сложившейся ситуации в ценообразовании в строительстве страдают все стороны инвестиционного процесса².

МЕТОДЫ

В результате анализа текущего состояния системы ценообразования в строительной отрасли Иркутской области выявлены проблемы и их возможные последствия, представленные в табл. 1.

Таблица 1. Проблемы ценообразования в строительстве и их последствия

Table 1. Pricing problems in construction and their consequences

Проблема ценообразования в строительной отрасли Иркутской области	Последствия выделенной проблемы
1. Внесение изменений в Градостроительный кодекс РФ относительно методики определения сметной стоимости без возможности реализации этих изменений на практике. В частности не работающая федеральная государственная система ценообразования в строительстве (ФГИС ЦС) [14]	Невозможность применения ресурсной модели определения сметной стоимости, которая дает самый достоверный результат ³
2. Базисным уровнем цен до сих пор являются цены по состоянию на 01.01.2000 г.	Высокая погрешность при определении сметной стоимости, связанной с применением индексов изменения сметной стоимости за 20 лет
3. Минстроем публикуются только индексы к стоимости строительно-монтажных работ, с ограниченной номенклатурой объектов строительства	Низкая точность расчетов при определении сметной стоимости

²Градостроительный кодекс Российской Федерации: федер. закон РФ от 29 декабря 2004 г. № 190-ФЗ // КонсультантПлюс.ru [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/ (17.10.2022).

³Об утверждении и введении в действие Методики определения стоимости строительной продукции на территории Российской Федерации: постановление Госстроя России от 05.03.2004 N 15/1 // КонсультантПлюс.ru [Электронный ресурс]. https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_48827/ (28.09.2022).

Окончание табл. 1

Проблема ценообразования в строительной отрасли Иркутской области	Последствия выделенной проблемы
4. Отсутствие индексов пересчета из базисных в текущие цены для работ по капитальному ремонту, применение для ремонтных работ индексов на новое строительство	Низкая точность расчетов при определении сметной стоимости ремонтных работ
5. Отсутствие возможности корректировки федеральных единичных расценок в соответствии с данными проекта [15]	Учет в смете несоответствующих проекту марок материалов, что влияет на снижение точности сметной стоимости и возникновению разногласий между заказчиком и исполнителем работ на этапе строительства
6. Невозможность учета в сметной документации затрат на доставку материалов от поставщика до объекта на фактическое расстояние	Занижение сметной стоимости для объектов, находящихся в отдаленных от областного центра населенных пунктах и, как следствие, экономия затрат в процессе производства работ, что может повлечь снижение их качества. Трудности в организации конкурентного отбора исполнителей работ
7. При отсутствии данных по стоимости материалов необходимость составления конъюнктурного анализа (не менее 3-х поставщиков) на все отсутствующие материалы с предоставлением большого количества данных о поставщиках [15]	Значительное увеличение трудоемкости работ по составлению сметной документации

Из перечисленных выше проблем более подробно рассмотрим основные. В течение последних лет для объектов, строительство, ремонт и реконструкция которых осуществляется за счет бюджетных источников финансирования, применялся метод определения сметной стоимости с самой низкой точностью [13]. Это базисно-индексный метод с применением федеральных единичных расценок и индексов пересчета в текущий уровень цен к стоимости строительно-монтажных работ. Особенно некорректно применять этот метод к стоимости работ по капитальному ремонту, так как структура стоимости строительно-монтажных работ отличается от структуры стоимости нового строительства⁴.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Произведен анализ сметной стоимости, рассчитанной ресурсным и базисно-индексным методами. Наряду с этим определены отклонения стоимости при различных методах расчета. При сравнении за эталон была принята сметная стоимость, рассчитанная ресурсным методом, так как этот метод дает самый точный результат. Результаты расчетов представлены в табл. 2.

По данным таблицы видно, что наибольшее отклонение стоимости от ресурсного метода дает расчет стоимости базисно-

индексный методом с индексом к стоимости строительно-монтажных работ. Стоит заметить, что для ремонтных работ наблюдаются отклонения по всем рассматриваемым объектам в сторону занижения сметной стоимости, величина отклонений варьирует от 18 до 54%. Из этого следует, что при определении стоимости работ по капитальному ремонту и демонтажу объектов капитального строительства индекс к стоимости строительно-монтажных работ применять нельзя. Но, как было сказано выше, в Иркутской области данный метод расчета долго время являлся единственно возможным для объектов бюджетного финансирования. Также произведен анализ упущенных затрат из сметной стоимости строительства детской школы искусств в г. Свирске Иркутской области. Строительство рассматриваемого объекта планируется в небольшом городе численностью населения около 14 тыс. чел., удаленность города от областного центра – 150 км. В городе отсутствуют поставщики и производители строительных материалов, в связи с чем заказчик сформировал фактическую транспортную схему доставки строительных материалов на объект. Дальность транспортировки материалов из представленной схемы приведена в табл. 3.

⁴О включении в федеральный реестр сметных нормативов информации о федеральных единичных расценках и отдельных составляющих к ним: приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 26 декабря 2019 года № 876/пр. Приложение 119: ФЕР 81-02-19-2001 Государственные сметные нормативы. Федеральные единичные расценки на строительно и специальные строительно работы. Сборник 19. Газоснабжение – внутренние устройства // Kodeks.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/564189102?marker> (28.09.2022).

Таблица 2. Сравнительный анализ сметной стоимости ремонтно-строительных работ
Table 2. Comparative analysis of the estimated cost of repair and construction works

Наименование объекта	Методы определения сметной стоимости				
	Ресурсный метод, тыс. руб.	Базисно-индексный метод с индексацией по статьям затрат, тыс. руб.		Базисно-индексный метод с индексацией к стоимости СМР, тыс. руб.	
		Стоимость	Отклонение от ресурсного метода тыс. руб/%	Стоимость	Отклонение от ресурсного метода тыс. руб/%
Капитальный ремонт многоквартирного жилого дома, г. Иркутск, ул. Киевская	5269,26	5528,46	259,2/5	4295,39	-973,86/-18
Ремонт городской станции по борьбе с болезнями животных, г. Тулун	936,098	650,432	-285,67/-31	430,781	-505,32/-54
Демонтаж (снос) многоквартирного жилого дома, г. Иркутск	1512,556	1464,505	-48,05/-3	1222,129	-290,43/-19

Стоимость строительства определена базисно-индексным методом с индексом к стоимости строительно-монтажных работ. При прохождении государственной экспертизы проектно-сметной документации на строительство данного объекта, в соответствии с замечаниями экспертов, не представился возможным учет доставки материалов, стоимость которых определена по сборнику ФССЦ 81-01-2001⁵, более чем учтенный в составе сметной стоимости материалов, т. е. до 30 км. Как видно из

табл. 3, фактическое расстояние доставки материалов составляет 40–123 км. При обосновании невозможности учета этих транспортных затрат эксперты ссылаются на отсутствие разъяснений в действующей нормативной базе по учету дополнительных транспортных затрат сверх учтенных в сметной стоимости материалов упомянутого выше сборника. Результаты расчета упущенной стоимости транспортировки материалов для строительства школы искусств представлены в табл. 3.

Таблица 3. Величина транспортных расходов, не учтенных в сметной стоимости строительства школы искусств

Table 3. The amount of transportation costs not included in the estimated cost of construction of the school of arts

Материалы, изделия и конструкции	Вес, т	Дальность транспортировки, км	Величина упущенных транспортных расходов, тыс. руб.
Инертные материалы	5855,507	40	708,71
Бетоны, растворы	8642,144	70	2958,6
Пиломатериал	164,041	123	72,09
Кирпич, блоки	539,827	123	201,62
Металлические конструкции, арматура	506,4007	123	386,96
Асфальтобетон	226,56	40	105,12
Железобетонные конструкции	220,982	123	168,86
Битум, мастика	17,194	100	17,08
Прочие	668,376	123	476
Всего			5095,05

⁵О включении в федеральный реестр сметных нормативов информации о федеральных единичных расценках и отдельных составляющих к ним: приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 26 декабря 2019 года № 876/пр. Приложение 121: ФССЦлг 81-01-2001 Федеральные сметные цены на перевозки грузов для строительства // Кодекс.ру [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/564215719?marker> (28.09.2022).

Стоимость дополнительных транспортных затрат определена для основных ценообразующих материалов по сборнику ФССЦпг-81-01-2001⁵. Величина затрат на доставку материалов, которые не учтены в сметной документации, составила около 5 млн руб., что составляет 2% от стоимости строительства объекта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выявленные проблемы в ценообразовании строительной отрасли Иркутской области снижают эффективность деятельности всех участников инвестиционно-строительного процесса, качество выполненных ремонтно-строительных и строительно-монтажных работ, и, как следствие, качество строительной продукции.

Для решения вышеперечисленных проблем необходимы оперативные действия по их устранению.

По мнению автора исследования необходимо следующее:

– расширить номенклатуру видов строительства, для которых Минстрой публикует индексы изменения сметной стоимости, в том

числе индексов на автомобильные и железнодорожные перевозки;

– публиковать индексы изменений сметной стоимости по статьям затрат для всех регионов РФ;

– публиковать индексы изменений сметной стоимости для ремонтных работ;

– предоставлять возможность корректировки ресурсной части федеральных единичных расценок в соответствии с проектом;

– притормозить внедрение конъюнктурного анализа стоимости материалов как необходимого документа в составе сметной документации до начала действия ФГИС ЦС;

– предоставлять разъяснения по учету транспортных затрат для отдаленных от поставщиков строительных материалов территорий.

Необходимо обратить внимание, что выполнение данных рекомендаций переориентирует действие властей на решение не только проблем заказчиков в строительный отрасли, но и позволит защитить интересы производителей работ, что положительно скажется на всей строительной отрасли.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Игликова А. Н., Тенизбаева Д. С., Елтай Э. Б., Кырықбай А. Ф. Қазақстан Республикасында құрылыс ұйымдарының жұмысын бағалау және сметалық құнының ерекшелігі // Актуальные научные исследования в современном мире: материалы конференции. 2020. №. 2-3 (58). P. 27–31.
2. Peshkov V. The building complex of the region in the aspect of implementing the main directions of the Strategy for the Development of the Housing Sector // MATEC Web of Conferences. International Scientific Conference «Investment, Construction, Real Estate: New Technologies and Special-Purpose Development Priorities» (ICRE 2018). 2018. Vol. 212. P. 04010. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201821204010>.
3. Trunkina L. V., Syzdykova E. Zh., Shakeyev S. S., Shakenova G. A. Features of pricing in construction and estimated cost of construction objects // Bulletin of Karaganda University. Economy Series. 2019. Vol. 95. No. 3. P. 247–254.
4. Пешков В. В. Экономические интересы в инвестиционно-строительной деятельности // Вестник Иркутской государственной экономической академии. 2007. № 3. С. 74–77.

5. Добышева Т. В. Роль ценообразования в повышении эффективности реализации инвестиционно-строительных проектов // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2015. № 4 (15). С. 32–40.
6. Гендлина Ю. Б., Семенова Т. И., Сиверикова Ю. О. Влияние сметной стоимости строительного проекта на стоимость строительного бизнеса // Управление и экономика народного хозяйства России: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. (г. Пенза, 23–24 марта 2017 г.) / Под общ. ред. Б. Н. Герасимова. Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2017. С. 33–37.
7. Тускаева З. Р., Карибов К. В. Сметная стоимость как основной экономический инструмент, используемый в строительстве // Тенденции развития науки и образования. 2019. № 48-7. С. 87-90. <https://doi.org/10.18411/lj-03-2019-158>.
8. Никишина О. В., Моргунова Т. А. Особенности экспертизы сметной стоимости строительства // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2015. № 4 (15). С. 76–83.
9. Добышева Т. В. К вопросу о реформировании системы ценообразования и сметного нормирования в строительстве // Известия вузов. Инве-

⁵О включении в федеральный реестр сметных нормативов информации о федеральных единичных расценках и отдельных составляющих к ним: приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 26 декабря 2019 года № 876/пр. Приложение 121: ФССЦпг 81-01-2001 Федеральные сметные цены на перевозки грузов для строительства [Электронный ресурс] // URL: <https://docs.cntd.ru/document/564215719?marker> (28.09.2022).

стиции. Строительство. Недвижимость. 2015. № 1 (12). С. 33–38.

10. Зверева Е. В., Наркевская Т. В. Анализ проблем определения достоверности стоимости строительства в контексте совершенствования системы ценообразования и сметного нормирования // Инновационные подходы развития экономики и управления в XXI веке: сб. тр. II Междунар. науч.-практ. конф. (г. Санкт-Петербург, 11 ноября 2021 г.). Санкт-Петербург: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2021. С. 93–98.

11. Bozgulova N., Parmanova R., Abenova M., Ivanyuk T., Aryshev V. 2019. Calculation methods for cost management in the construction industry // Entrepreneurship and Sustainability Issues. 2019. Vol. 7. No 2. P. 1450–1461. [http://doi.org/10.9770/jesi.2019.7.2\(46\)](http://doi.org/10.9770/jesi.2019.7.2(46)).

12. Егоренко А. Л., Соколова В. В., Харламов И. В. Анализ определения сметной стоимости строительства в Алтайском крае в переходный

период реформы ценообразования // Ползуновский альманах. 2020. Т. 1. № 2. С. 55–60.

13. Добышева Т. В., Доржиева О. Б. К вопросу определения стоимости зданий, пострадавших от пожара // Молодежный вестник ИрГТУ. 2018. Т. 8. № 4. С. 12–14.

14. Полякова В. А., Пешков В. В., Бужеев И. В. Некоторые особенности определения стоимости строительно-монтажных работ // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2015. № 4 (15). С. 106–115.

15. Dedukhina E., Torgashina I. To the question of planning the volume of investments for capital repair of the common property in the apartment buildings in the Irkutsk region // Investment, Construction, Real Estate: New Technologies and Special-Purpose Development Priorities (ICRE 2018: MATEC Web of Conferences. International Scientific Conference. 2018. Vol. 212. P. 08009. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201821208009>.

REFERENCES

1. Iglukova A. N., Tenizbayeva J. S., Eltai A. B., Kyrykbay A. F. Assessment of work and features of the estimated cost of construction organizations in the republic of Kazakhstan. *Aktual'nye nauchnye issledovaniya v sovremennom mire*. 2020;2-3:27-31. (In Kazakh).

2. Peshkov V. V. The building complex of the region in the aspect of implementing the main directions of the Strategy for the Development of the Housing Sector. *MATEC Web of Conferences. International Scientific Conference "Investment, Construction, Real Estate: New Technologies and Special-Purpose Development Priorities" (ICRE 2018)*. 2018;212:04010. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201821204010>.

3. Trunkina L. V., Syzdykova E. Zh., Shakeyev S. S., Shakenova G. A. Features of pricing in construction and estimated cost of construction objects. *Bulletin of Karaganda University. Economy Series*. 2019;95(3):247-254.

4. Peshrov V. V. Economical interests in investment-civil engineering activity. *Izvestiya Baikal'skogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Baikal state university*. 2007;3:74-77. (In Russ.).

5. Dobysheva T. V. Role of price determination in efficiency improvement of investment and development project realization. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2015;4:32-40. (In Russ.).

6. Gendlina Yu. B., Semenova T. I., Siverikova Yu. O. The impact of the estimated cost of the construction project on the cost of the construction business. In: *Upravlenie i ekonomika narodnogo khozyaistva Rossii: sbornik statei Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Management*

and economics of the national economy of Russia: collection of articles of the International Scientific and Practical Conference. B. N. Gerasimov (Eds.). 23-24th March 2017, Penza. Penza: Penza State Agrarian University; 2017. p. 33-37. (In Russ.).

7. Tuskaeva Z.R., Karibov K.V. Estimated cost as the main economic tool used in construction. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya*. 2019;48-7:87-90. (In Russ.).

8. Nikishina O. V., Morgunova T. A. Inspection peculiarities of budget building value. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2015;4:76-83. (In Russ.).

9. Dobysheva T.V. To the question of reforms in the system of pricing and budgeted measurement in building sphere. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2015;1(12):33-38. (In Russ.).

10. Zvereva E. V., Narkevskaya T. V. Analysis of the problems of determining the reliability of the cost of construction in the context of improving the pricing system and estimated rationing. *Innovatsionnye podkhody razvitiya ekonomiki i upravleniya v XXI veke: sbornik trudov II Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Innovative approaches to the development of economics and management in the XXI century: collection of works II International Scientific and Practical Conference*. 11th November 2021, Saint-Petersburg. Saint-Petersburg: Saint-Petersburg State University of Railways of Emperor Alexander I; 2021. p. 93-98. (In Russ.).

11. Bozgulova N., Parmanova R., Abenova M., Ivanyuk T., Aryshev V. 2019. Calculation methods for cost management in the construction industry.

Entrepreneurship and Sustainability Issues. 2019;7(2):1450-1461. [http://doi.org/10.9770/jesi.2019.7.2\(46\)](http://doi.org/10.9770/jesi.2019.7.2(46)).

12. Egorenko A. L., Sokolova V. V., Kharlamov I. V. Analysis of determining the estimated cost of construction in the Altai Territory during the transition period of pricing reform. *Polzunovskii al'manakh*. 2020;1(2):55-60. (In Russ.).

15. Dobysheva T. V., Dorzhieva O. B. On determining the value of buildings damaged by fire. *Molodezhnyi vestnik IrGTU = ISTU Bulletin of youth*. 2018;8(4):12-14. (In Russ.).

14. Poliakova V. A., Peshkov V. V., Buzheev Iu. V. Some peculiarities to define the cost of shell and

core works. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2015;4:106-115. (In Russ.).

15. Dediukhina E., Torgashina I. To the question of planning the volume of investments for capital repair of the common property in the apartment buildings in the Irkutsk region. «*Investment, Construction, Real Estate: New Technologies and Special-Purpose Development Priorities*» (ICRE 2018): *MATEC Web of Conferences. International Scientific Conference*. 2018;212:08009. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201821208009>.

Информация об авторе

Е. С. Дедюхина,

старший преподаватель кафедры
экспертизы и управления недвижимостью,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: ded_es@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-9731-668X>

Вклад автора

Дедюхина Е. С. провела исследование, подготовила статью к публикации и несет ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 24.10.2022.
Одобрена после рецензирования 18.11.2022.
Принята к публикации 22.11.2022.

Information about the author

Ekaterina S. Dediukhina,

Senior Lecturer of the Department
of Real Estate Expertise and Management,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: ded_es@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-9731-668X>

Contribution of the author

Dediukhina E. S. has conducted the study, prepared the article for publication and bears the responsibility for plagiarism.

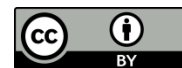
Conflict of interests

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

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

Information about the article

The article was submitted 24.10.2022.
Approved after reviewing 18.11.2022.
Accepted for publication 22.11.2022.



Цифровая трансформация как фактор устойчивого развития строительного комплекса

Вера Александровна Кудрявцева¹, Ольга Валерьевна Никишина²

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

Автор, ответственный за переписку: Кудрявцева Вера Александровна, kudravera@mail.ru

Аннотация. Происходящие в Российской Федерации преобразования, связанные со становлением цифровой экономики и переходом к новому технологическому укладу, приводят к развитию сферы высоких технологий и внедрению активной инновационной деятельности в различных отраслях экономики. Строительство относится к тем отраслям, которые создают производственные мощности, способствуют наращиванию основных фондов, обеспечивающих процесс расширенного воспроизводства в экономике в целом. Вместе с тем уровень проникновения цифровых технологий в девелопменте и строительстве остается в настоящее время одним из самых низких среди отраслей. Поэтому активизация процессов внедрения цифровых и инновационных технологий в строительной сфере стоит достаточно остро, поскольку синергетическим эффектом от внедрения цифровой трансформации строительной сферы будет являться не только повышение строительными организациями своей конкурентоспособности и укрепление позиций на строительном рынке, но и возможность снизить затраты на реализацию проекта в целом.

Ключевые слова: цифровая трансформация, инвестиционно-строительная отрасль, строительство, инновационные технологии, технологические направления, тренды

Для цитирования: Кудрявцева В. А., Никишина О. В. Цифровая трансформация как фактор устойчивого развития строительного комплекса // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 4. С. 492–500. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-492-500>.

Original article

Digital transformation as a factor in sustainable construction industry development

Vera A. Kudryavtseva¹, Olga V. Nikishina²

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

Corresponding author: Vera A. Kudryavtseva, kudravera@mail.ru

Abstract. Economic digitalization, along with the transition to a new technological paradigm, has given rise to an ongoing transformation in the Russian Federation, expanding the high-tech industry and driving innovation across a wide range of economic sectors. However, the digitization level in the development and construction sectors currently remains one of the lowest among industries, despite the fact that construction is involved in creating production capacity and contributes to the growth of fixed assets, which ensures expanded reproduction in the entire economy. Therefore, it is necessary to promote the implementation of digital and innovative technologies in the construction sector, as its digital transformation can produce a synergistic effect reducing project costs in general, as well as improving the competitiveness of construction organizations and strengthening their position in the market.

Keywords: digital transformation, investment and construction industry, construction, innovative technologies, technological trends, trends

For citation: Kudryavtseva V. A., Nikishina O. V. Digital transformation as a factor in sustainable construction industry development. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(4):492-500. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-492-500>.

© Кудрявцева В. А., Никишина О. В., 2022

ВВЕДЕНИЕ

Строительный сектор любого государства относится к одному из главных производственных комплексов, занимающих весомое место в мировой экономической системе или внутри государственной экономической системы. В связи с глобальной трансформацией мировой экономической системы для эффективного функционирования и формирования конкурентных преимуществ строительная отрасль уже сейчас нуждается в применении актуальных научных достижений в области техники, новых технологий и эффективных методов организации производства. Создание предпосылок с целью внедрения новых схем организации строительства должно основываться на реализации проектных решений в разрезе перспективы всего жизненного цикла объектов строительства.

В настоящее время эффективная реализация строительных проектов во многом определяется и одновременно зависит от уровня и качества технологического соединения административных, управленческих и строительных процессов, поскольку современные методы, применяемые при проектировании, управлении, технологии и организации строительства определяют и в большей степени оказывают влияние на производительность строительно-монтажных работ и процессов. Возведение зданий и сооружений выполняют с применением современных требований строительных норм и правил, используемых при проектировании и строительстве объекта. Но ограничиваться только данным аспектом нельзя, поскольку на сегодняшний день важным является всеобъемлющее внедрение элементов цифровых технологий в производственный процесс.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

К настоящему моменту в мировой строительной отрасли начались масштабные изменения, связанные, в первую очередь, с использованием инновационных способов реализации строительных проектов взамен устоявшихся методов проектирования и строительства.

Повышенные требования к современной проектной документации, нарастающее давление по срокам, проблемы с коммуникацией между участниками, большой объем информации или ее отсутствие в нужное время – все это способствует низкокэффективной работе отрасли в целом.

Вместе с тем необходимо уделять особое внимание перспективным направлениям развития строительства, что невозможно сделать без детального анализа внутренних и внешних факторов, препятствующих инновационному развитию.

Анализ рыночной среды позволил выявить следующие внешние факторы: низкий платежеспособный спрос, недостаточный объем финансовой поддержки со стороны государства, риски, связанные с вероятностью получения низкой доходности от инновационных инвестиций. Внутренними факторами, препятствующими внедрению инноваций в отрасли, являются: недостаточная обеспеченность в инновационно-ориентированных специалистах, сложности, связанные с разработкой и внедрением инновационно-инвестиционных проектов, недостаточный объем информации об имеющихся инновациях и отсутствие качественной технической поддержки при их внедрении в производственный процесс, недостаток информации о возможных покупателях инноваций, слабая система стимулирования и поддержки инновационной активности [1–4].

Цифровое представление информации имеет гораздо большие возможности по сравнению с традиционными методами, позволяя формировать единую технологическую среду, например, экосистемы, платформы, гейткиперы, площадки, в рамках которых функционирует множество пользователей с возможностью интеграции между ними.

Подобная интеграция имеет множество преимуществ и позволяет создавать нужное пользователю дружественное окружение (технологическое, инструментальное, методическое, документальное, партнерское и т. п.), управлять пользовательским поведением, добиваться максимальной прозрачности процессов, решать целые классы задач, выявлять проблемы и точки улучшения в разных бизнес-направлениях деятельности¹ [5].

На рис. 1. представлено, на какие аспекты жизнедеятельности общества оказывает влияние внедрение цифровых технологий в инвестиционно-строительную отрасль.

По состоянию на 2021 г. можно отметить, что в российских реалиях объем внедрения цифровых технологий в строительстве остается на достаточно низком уровне по сравнению с другими отраслями, что подтверждается исследованиями ведущих мировых экономистов, составивших рейтинг цифровой

¹Принять вызов цифровой экономики // Expert.ru [Электронный ресурс]. URL: <http://expert.ru/siberia/2017/48/prinyat-vyzov-tsifrovoj-ekonomiki/> (14.09.2022).

трансформации отраслей в мире (рис. 2).

Вместе с тем, по данным статистических исследований за 2021 г., внедрение цифровых технологий в строительные компании находится на начальном этапе – только около 60% компаний начали заниматься вопросами внедрения цифровизации процессов (рис. 3).

Значительная часть существующих бизнес-моделей и экосистем, которые распространены на предприятиях западной части мира, яв-

ляются преградой в успешной конкуренции в условиях цифровой экономики. Поэтому единственным вариантом является цифровая трансформация, которая сможет работать на основе постоянного совершенствования всего процесса формирования стоимости продукции² [6–8].

Направления изменения функционирования бизнеса при внедрении цифровых платформ иллюстрирует табл. 1.

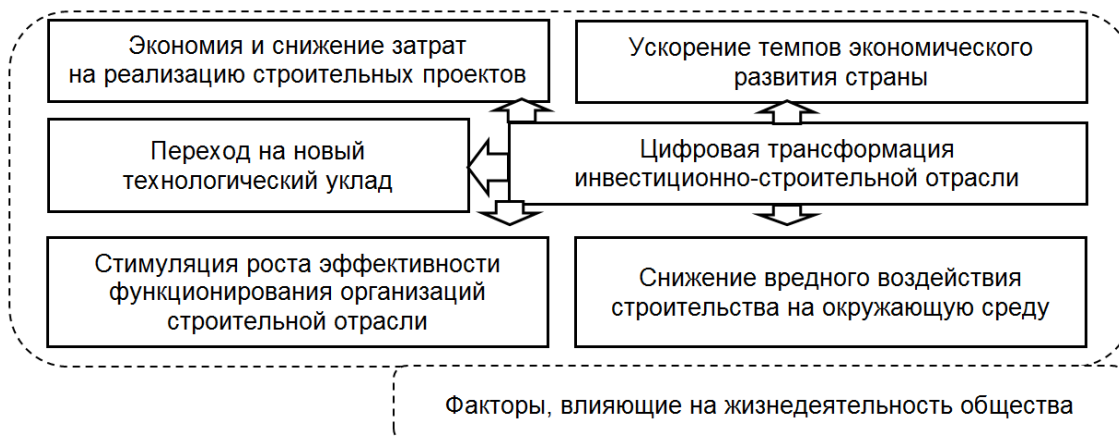


Рис. 1. Влияние цифровой трансформации инвестиционно-строительной отрасли на основные параметры жизнедеятельности общества

Fig. 1. The impact of digital transformation of the investment and construction industry on the basic parameters of society

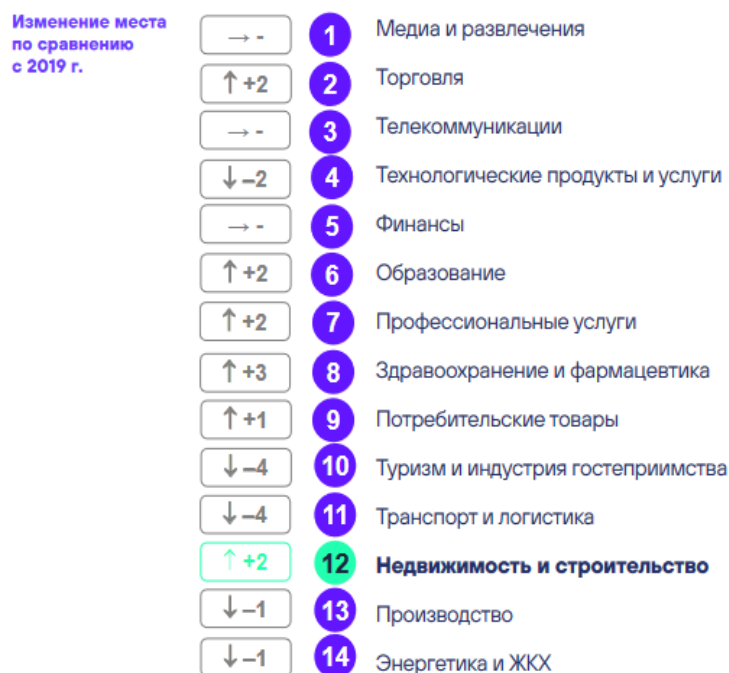


Рис. 2. Рейтинг цифровой трансформации отраслей в мире по состоянию на 2021 г. [9]

Fig. 2. Rating of digital transformation of industries in the world as of 2021 [9]

²Абдрахманова Г. И., Вишневский К. О., Волкова Г. Л., Гохберг Л. М., Демьянова А. В., Дьяченко Е. Л., [и др.] Индикаторы цифровой экономики: стат. сб. / Под ред. Я. И. Кузьминова, М. А. Сабельниковой. М.: Высшая школа экономики, 2018. 268 с.



Рис. 3. Разделение строительных организаций по этапам цифровой зрелости в мире по состоянию на 2021 г. [9]

Fig. 3. The division of construction organizations by stages of digital maturity in the world as of 2021 [9]

Таблица 1. Направления изменения функционирования бизнеса при внедрении цифровых платформ³

Table 1. Directions of change in the functioning of the business in the implementation of digital platforms

Бизнес до внедрения цифровых платформ	Бизнес на базе цифровых платформ
Цепочка поставок (линейное добавление ценности)	Экосистема на базе цифровой платформы (нелинейное добавление ценности)
Возможность контролировать цепочку поставок	Возможность контролировать и стабилизировать экосистему
Экономия за счет масштаба на стороне предложения	Экономия за счет масштаба на стороне спроса
Рост ценности при увеличении числа поставщиков	Рост ценности при увеличении числа потребителей
Уменьшение отдачи от материальных активов за счет их амортизации	Увеличение отдачи по мере развития сетевого эффекта цифровой экосистемы
–	Возможность оперативного поиска партнеров – эффективное сотрудничество между участниками бизнес-процессов
–	Размещение производственного процесса в непосредственной близости к потребителю
–	Уход от посредников, прямой доступ к ресурсам, экономия за счет коллективных (crowd) проектов (организованные коллективные закупки, строительство в складчину)
–	Отказ от длинных цепочек поставок и ликвидация целого ряда посредников
–	Ускорение внедрения новых продуктов Снижение себестоимости производимой продукции и существенное снижение времени на ее производство Снижение стоимости потребительских товаров (уберизация экономики)

³Инновации в строительстве: мировые тренды и особенности развития в Москве // Агентство инноваций Москвы [Электронный ресурс]. URL: [https://innoagency.ru/files/Innovations in Construction AIM 2021.pdf](https://innoagency.ru/files/Innovations_in_Construction_AIM_2021.pdf) (14.09.2022).

Для создания успешной экосистемы организация должна обладать максимальным количеством соответствующих компетенций, таких как:

- управление интеграционными процессами;
- гибкое управление организацией;
- управление отношениями с клиентами;
- организация взаимодействия между «центром инновационных решений» и существующими подразделениями компании;
- управление инновациями [9].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Пытаясь дать оценку цифровизации в различных отраслях, включая строительство, следует отметить, что суть ее заключается в том, что организация должна быть способна обладать требуемой компетенцией в области регулярного преобразования своей работы с использованием цифровых технологий.

В России порядка 50% составляет показатель по совокупным инвестициям в основной капитал, приходится он на строительство зданий (жилых и нежилых) и сооружений. Показатель рентабельности строительных организаций по проданным товарам и услугам за период 2010–2018 гг. находился в диапазоне

4,8–7%, тогда как в среднем по экономике показатель составлял 7,7–12,3%.

Вопросами перспективы развития строительной отрасли занимаются на высшем государственном уровне.

К настоящему моменту времени работа по формированию и утверждению Стратегии развития строительной отрасли до 2030 г. проводится Минстроем России.

Согласно распоряжению Правительства Российской Федерации от 16 августа 2018 г. № 1697-р⁴ рассматриваемая Стратегия входит в план мероприятий («дорожную карту») по развитию конкуренции в отраслях экономики страны.

В основе данной стратегии лежит ряд принципов, которые по итогу приведут к конкурентоспособной, эффективной, инновационно жизнеспособной строительной отрасли (рис. 4).

Стремительный переход на новые технологии приведет к кардинальной перестройке и трансформации всей строительной отрасли в целом, что позволит сделать управление строительством и операции на строительной площадке более эффективными и устойчивыми³.

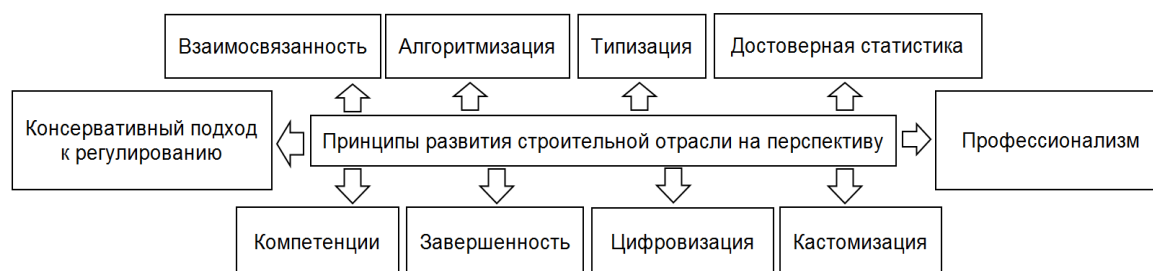


Рис. 4. Принципы, лежащие в основе развития строительной отрасли до 2030 г.

Fig. 4. Principles underlying the development of the construction industry until 2030

Кроме того, следует отметить, что невозможно осуществлять внедрение цифровых технологий в строительную организацию без корректировки деятельности всей организации в целом (рис. 5).

Следует четко понимать, что внедрение цифровых технологий только в производственном отделе приведет к существенному результату работы всей организации, в то время как остальные подразделения смогут работать в прежнем режиме.

Подобный подход не позволит получить те преимущества, которые возможны при полном внедрении цифровизации.

Для осуществления всего процесса необходим ряд инструментов или систем, на базе которых будет функционировать организация. Перспективные технологические направления и тренды представлены на рис. 6 [10–12].

Вместе с тем, руководителям высшего звена следует четко понимать, что для достижения желаемых результатов в области тотальной цифровизации строительной отрасли, необходимо иметь четкую концепции и умелое управление, что будет выражаться в наличие собственных стратегий в организациях, которая учитывает специфические особенности ее деятельности (рис. 7) [13].

⁴О плане мероприятий ("дорожной карте") по развитию конкуренции в отраслях экономики РФ и переходу отдельных сфер естественных монополий из состояния естественной монополии в состояние конкурентного рынка на 2018–2020 гг.: распоряжение Правительства Российской Федерации от 16 августа 2018 г. № 1697-р // Гарант.ру [Электронный ресурс]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71930872/> (14.09.2022).



Рис. 5. Цифровая трансформация и результат внедрения в отрасль
Fig. 5. Digital transformation and the result of implementation in the industry



Рис. 6. Перспективные технологические направления и тренды
Fig. 6. Promising technological directions and trends

	Объем рынка 2020, \$ млрд	Объем рынка 2027, \$ млрд	CAGR 2020 – 2027
ВМ	5,71	11,96	11,1%
Цифровые двойники*	5,04	49,3	42,7%
ИИ в строительстве (планирование и проектирование, безопасность, оборудование, мониторинг и техническое обслуживание)	0,8	6,0	31,1%
Умные здания	57,3	208,07	21,6%
Дроны	5,5	12,0	15,4%
Строительные роботы (автономные системы, устройства для трехмерной печати, экзоскелеты, тяжелое оборудование и разнородная специализированная автоматика)	3,0	7,88	23,3%
Строительные 3D-принтеры	0,007	0,1	91,5%
Зеленое строительство	293,7	610,6	11%
Модульное строительство**	75,9	114,8	6,1%
Управление строительными отходами	130,3	149,2	2,7%

Рис. 7. Оценки объемов отдельных рынков строительства в мире³
Fig. 7. Estimates of the volume of individual construction markets in the world

ВЫВОДЫ

Обладая определенной спецификой, цифровые технологии имеют свои особенности и свой набор технологий, которые подходят к конкретной отрасли и которые определяют сущность такого явления как цифровая трансформация.

Рассматривая строительство, нельзя не отметить, что цифровизация затрагивает многие направления функционирования

предприятий отрасли и в конечном итоге позволяет получить ряд конкурентных преимуществ, к которым можно отнести снижение объема затрат на строительство, расширение возможностей и границ деятельности, наращивание потенциала работы, сокращение негативного влияния на окружающую среду, что, в конечном итоге, позволит повысить темпы экономического развития не только отдельных регионов, но и страны в целом.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Авдеева Е. А., Давыдова Т. Е. Конкурентоспособность инновационной экономики, основные составляющие // Экономика и предпринимательство. 2017. № 10-1 (87). С. 94–96.
2. Абдулхамидов С.-М. С. Основные направления устойчивых трендов в строительной отрасли

- // Образование. Наука. Научные кадры. 2020. № 2. С. 125–126. <https://doi.org/10.24411/2073-3305-2020-10085>.
3. Алексеев С. Г. Оценка уровня инновационной активности региона // Вестник науки и образования. 2015. № 10 (12). С. 46–56.

4. Бачуринская И. А., Юденко М. Н. Устойчивое развитие жилищного строительства в России: проблемы и перспективы // Актуальные вопросы развития современной науки: теория и практика: материалы XXXII Научной сессии по итогам НИР за 2019 г. / Под ред. Е. А. Горбашко [и др.] (г. Санкт-Петербург, 01 апреля – 30 мая 2020 г.). Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный экономический университет, 2020. С. 6–9.

5. Халин В. Г., Чернова Г. В. Цифровизация и ее влияние на российскую экономику и общество: преимущества, вызовы, угрозы и риски // Управленческое консультирование. 2018. № 10 (118). С. 46–63. <https://doi.org/10.22394/1726-1139-2018-10-46-63>.

6. Grinis M., Buisman A. How are engineering and construction companies adapting digital to their businesses. London: Ernst&Young, 2018. P. 16.

7. Аптекман А., Калабин В., Клинецов В., Кузнецова Е., Кулагин В., Ясеновец И. Цифровая Россия: новая реальность. Мак-Кинзи и Компания, 2017. 133 p.

8. Васильева Н. В., Бачуринская И. А. Проблемные аспекты цифровизации строительной отрасли // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2018. № 7. С. 39–46.

9. Kudryavtseva V. A., Nikishina O. V., Vasileva N. V. Features of digital transformation in the construction industry // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 880. P. 012080. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/880/1/012080>.

10. Berman S., Bell R. Digital transformation: Creating new business models where digital meets physical. Нью-Йорк: IBM Corporation, 2011. 4 p.

11. Berger R. Digitization in the construction industry. Munich: Competence Center, 2016. P. 156.

12. Banke B., Kotov I., Tuschen S. Russia online? Catching up can't be left behind. Boston: The Boston Consulting Group, 2016. P. 56.

13. Вишневская А., Аблязов Т. Особенности концепции цифровой трансформации инвестиционно-строительной сферы // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2019. № 3 (2). С. 28–37.

REFERENCES

1. Avdeeva E. A., Davydova T. E. Competitiveness of the innovation economy, main components. *Ekonomika i predprinimatel'stvo*. 2017;10-1:94–96. (In Russ.).

2. Abdulhamidov S.-M. S. The main directions of sustainable trends in the construction industry. *Obrazovanie. Nauka. Nauchnye kadry*. 2020. № 2. С. 125–126. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/2073-3305-2020-10085>.

3. Alexeev S. G. Assessment of the level of innovation activity in the region. *Vestnik nauki i obrazovaniya*. 2015;10:46-56. (In Russ.).

4. Bachurinskaya I. A., Yudenko M. N. Ustoichivoe razvitie zhilishchnogo stroitel'stva v Rossii: problemy i perspektivy. In: *Aktual'nye voprosy razvitiya sovremennoi nauki: teoriya i praktika: materialy XXXII Nauchnoi sessii po itogam NIR za 2019 g. = Topical issues of the development of modern science: theory and practice: materials of the XXXII Scientific session on the results of research in 2019*. 01 April-30 May 2020, Saint-Petersburg. E. A. Gorbashko at al. (Eds.). Saint-Petersburg: Saint-Petersburg State University of Economics; 2020. p. 6-9. (In Russ.).

5. Khalin V. G., Chernova G. V. Digitalization and its impact on the russian economy and society: advantages, challenges, threats and risks. *Upravlencheskoe konsul'tirovanie = Administrative consulting*. 2018;10:46-63. (In Russ.). <https://doi.org/10.22394/1726-1139-2018-10-46-63>.

10.22394/1726-1139-2018-10-46-63.

6. Grinis M., Buisman A. How are engineering and construction companies adapting digital to their businesses. London: Ernst&Young; 2018. p. 16.

7. Aptekman A., Kalabin V., Klintsov V., Kuznetsova E., Kulagin V., Yassenovets I. Digital Russia: a new reality. McKinsey and Company; 2017. 133 p.

8. Vasil'eva N. V., Bachurinskaya I. A. Problematic aspects of digitalization of the construction industry. *Vestnik Altaiskoi akademii ekonomiki i prava*. 2018;7:39-46. (In Russ.).

9. Kudryavtseva V. A., Nikishina O. V., Vasileva N. V. Features of digital transformation in the construction industry. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 880. p. 012080. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/880/1/012080>.

10. Berman S., Bell R. Digital transformation: Creating new business models where digital meets physical. Нью-Йорк: IBM Corporation; 2011. 4 p.

11. Berger R. Digitization in the construction industry. Munich: Competence Center, 2016. p. 156.

12. Banke B., Kotov I., Tuschen S. Russia online? Catching up can't be left behind. Boston: The Boston Consulting Group; 2016. p. 56.

13. Vishnivetskaya A. I., Ablyazov T. Kh. Features of the concept of digital transformation of the investment and construction sector. *Vestnik Altaiskoi akademii ekonomiki i prava*. 2019;3:28-37. (In Russ.).

Информация об авторах**В. А. Кудрявцева,**

кандидат экономических наук, доцент,
доцент кафедры экспертизы и управления
недвижимостью,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: kudravera@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0071-6602>

О. В. Никишина,

старший преподаватель кафедры
экспертизы и управления недвижимостью,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: olga_nikishina_7@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8485-1229>

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в
подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

Все авторы прочитали и одобрили оконча-
тельный вариант рукописи.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 31.10.2022.
Одобрена после рецензирования 17.11.2022.
Принята к публикации 21.11.2022.

Information about the authors**Vera A. Kudryavtseva,**

Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Real Estate Expertise and Management,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: kudravera@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0071-6602>

Olga V. Nikishina,

Senior teacher of the Department
of Real Estate Expertise and Management,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: olga_nikishina_7@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8485-1229>

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

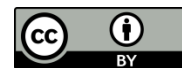
Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests re-
garding the publication of this article.

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

Information about the article

The article was submitted 31.10.2022.
Approved after reviewing 17.11.2022.
Accepted for publication 21.11.2022.



Особенности частного инвестирования в объекты жилой недвижимости в России

Элла Юрьевна Павельева¹, Наталья Юрьевна Пузыня²

^{1,2}Санкт-Петербургский государственный экономический университет, г. Санкт-Петербург, Россия
Автор, ответственный за переписку: Павельева Элла Юрьевна, ella55555@mail.ru

Аннотация. Цель – выявить проблемы при проведении инвестиционной оценки жилой недвижимости для частных инвесторов; дать определение частного инвестора и сформулировать его особенности. Представлен алгоритм принятия решения частным инвестором при инвестировании в жилую недвижимость, позволяющий учесть индивидуальные характеристики инвестора. С помощью алгоритма частный инвестор самостоятельно может провести оценку объектов жилой недвижимости в личных целях. Предложенный алгоритм является основой построения финансовой модели частного инвестирования в жилую недвижимость. Проведена апробация применения алгоритма и продемонстрирован конкретный пример оценивания объектов жилой недвижимости для инвестирования. Результаты расчетов показали эффективность предлагаемой методики для понимания преследуемых инвестором интересов на рынке жилой недвижимости. Представленная методика легко переводится в цифровой формат, и неквалифицированный частный инвестор может использовать ее как практическое руководство при оценке инвестиционных объектов жилой недвижимости. В цифровом виде предложенный алгоритм можно использовать в качестве приложения к смартфону.

Ключевые слова: частные инвестиции, частный инвестор, оценка жилой недвижимости, инвестиции в жилую недвижимость, поведение частного инвестора

Для цитирования: Павельева Э. Ю., Пузыня Н. Ю. Особенности частного инвестирования в объекты жилой недвижимости в России // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 4. С. 501–511. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-501-511>.

Original article

Specifics of private investment in residential real estate in Russia

Ella Yu. Pavleva¹, Natalia Yu. Puzynya²

¹Saint Petersburg State University of Economics, Saint Petersburg, Russia
Corresponding author: Ella Yu. Pavleva, ella55555@mail.ru

Abstract. The paper aims to identify problems associated with the assessment of residential real estate for private investors, as well as to define and characterize a private investor. A decision-making algorithm for private investors in residential real estate is presented, which allows individual characteristics of the investor to be taken into account. With the help of this algorithm, private investors can independently assess residential real estate for personal purposes. The proposed algorithm provides the basis for building a financial model of private investment in residential real estate. The study tested this algorithm, presenting a specific example of residential real estate assessment for investment purposes. The calculation results show the effectiveness of the proposed procedure in understanding investors' interests in the residential real estate market. Moreover, the presented procedure can be easily digitized, thus allowing an unqualified private investor to use it as a practical guide in the assessment of residential real estate investment properties. In digital form, the proposed algorithm can be used as a smartphone application.

Keywords: private investment, private investor, valuation of residential real estate, investment in residential real estate, behavior of a private investor

For citation: Paveleva E. Yu., Puzynya N. Yu. Specifics of private investment in residential real estate in Russia. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(4):501-511. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-501-511>.

ВВЕДЕНИЕ

На рынке ценных бумаг, помимо институциональных инвесторов, статус которых закреплён Федеральным законом от 22.04.1996 г. № 39-ФЗ¹, действуют и индивидуальные неквалифицированные инвесторы, которые, в свою очередь, могут быть юридическими (корпоративными инвесторами) и физическими лицами (частными инвесторами).

Анализируя различные взгляды на вопрос выделения в массе неквалифицированных инвесторов частных инвесторов в отдельную категорию² [1], можно сделать вывод, что такое разделение обоснованно, так как даёт возможность более четко их идентифицировать и выявить особенности. Определяющей характеристикой частного инвестора являются его личностные качества. Окружение, сформированные ценности и привычки поведения влияют на то, каким будет выбор частных лиц в инвестиционной деятельности, который не всегда может быть рациональным. И в общем смысле каждому человеку свойственно когнитивное искажение при восприятии и анализе поступающей информации.

Частный инвестор определяется как физическое лицо, обладающее желанием и возможностью осуществлять вложение собственных денежных средств, исходя из личностных качеств, в условиях сложившегося инвестиционного климата и приемлемого уровня риска с целью последующего получения дохода. Он может даже не иметь экономического образования и не иметь опыта инвестирования [2].

В данной статье предлагается методика инвестиционной оценки жилой недвижимости для неквалифицированного частного инвестора. С 2017 г. в России действует Стратегия повышения финансовой грамотности³, целью которой является формирование основ грамотного финансового поведения населения как необходимого условия повышения уровня

и качества жизни, в рамках которой предлагаемая методика инвестиционной оценки жилой недвижимости для частного неквалифицированного инвестора является актуальной.

МЕТОДЫ

В предлагаемой методике для частного инвестора учитываются его личностные качества при принятии им инвестиционного решения.

Обобщая результаты работ различных исследователей и ученых [3–6], можно заключить, что многие частично пытались учесть личностные особенности инвесторов в принятии ими решений, однако полноценного алгоритма с пошаговой ее реализации ими не было предложено.

Цифровизация рынка жилой недвижимости позволяет в современных условиях получить большой массив информации, так как она доступна, и получить ее можно моментально. Но специализированных сервисов для инвестирования на рынке жилой недвижимости в России пока не предложено. Была проанализирована выборка топ-5 приложений Apple Store в России о недвижимости или инвестировании в недвижимость. Ни одно из данных приложений не включает в себя сервис по инвестиционной оценке жилой недвижимости.

На рынке существуют сервисы по поиску жилья: Циан (cian.ru), Avito (avito.ru), Портал «Бюллетень недвижимости» (BN.ru), Domofond.ru, однако они не предоставляют инвестору возможность получить инвестиционную оценку жилья. Это могло бы иметь воплощение в виде платной подписки на дополнительные сервисы площадок, однако на сегодняшний день таких предложений нет.

Альтернативой в сервисе по инвестиционной оценке жилья может стать оценочная компания. Однако в настоящее время оценочные компании предлагают набор услуг, не включающий в себя инвестиционную оценку

¹О рынке ценных бумаг: федер. закон от 22 апреля 1996 № 39-ФЗ // КонсультантПлюс [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_10148/ (04.05.2022).

²Райзенберг Б. А., Лозовский Л. Ш., Стародубцева Е. Б. Современный экономический словарь. М.: ИНФА-М, 2016. 376 с.;

Чечин В. В. Инвестиционные предпочтения частных инвесторов как основа принятия решения на рынке ценных бумаг: автореф. дисс. ... канд. экон. наук. 08.00.10 «Финансы, денежное обращение и кредит». Новосибирск, 2017. 22 с.

³Стратегия повышения финансовой грамотности в Российской Федерации на 2017-2023 годы: распоряжение Правительства РФ от 25 сентября 2017 г. № 2039-р // Официальный интернет-портал правовой информации [Электронный ресурс]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201709290002> (05.06.2022).

жилья, сфокусировав свою деятельность на определении его рыночной стоимости для целей купли-продажи или ипотечного кредитования. Инвестиционную оценку оценочные компании провести могут, но это повлечет за собой дополнительные расходы для частного инвестора. Кроме того, ввиду нестандартности запроса, стоимость услуги может быть значительной.

В данной работе предлагается Алгоритм принятия инвестиционного решения частным инвестором на рынке жилой недвижимости (рис. 1). С помощью представленного алгоритма частный инвестор может провести оценку объектов жилой недвижимости самостоятельно в своих личных целях.

Кроме того, данный алгоритм может стать основой для разработки программного продукта, который может быть предложен пользователю как самостоятельное приложение по подбору инвестиционных объектов для частных инвесторов либо как дополнительный сервис к крупным площадкам по предложению жилья. Алгоритм позволяет учесть в процессе принятия инвестиционного решения личностные особенности инвестора дважды: в первый раз на самом начальном этапе при выборе сегмента рынка жилой недвижимости и стратегии получения дохода и второй раз при проведении самой оценки объекта. Осуществляется это путем анкетирования частного инве-

стора и подсчета результатов по ключу к тесту. Данный алгоритм помогает частным инвесторам достичь именно тех финансовых результатов, которые они ставили перед собой с учетом их субъективных потребностей.

Алгоритмом определяется стратегия инвестирования: агрессивная, консервативная или смешанная, которая, в свою очередь, определяет работу инвестора на первичном или вторичном рынке, фокус на покупке/продаже или покупке/сдаче в аренду. А также инвестор определяет размер жилья и класс дома.

Агрессивной стратегии соответствует поведение инвестора, выраженное в приобретении недвижимости на первичном рынке на старте продаж и реализация ее до вступления в права собственности после сдачи объекта. Для консервативной – приобретение недвижимости на вторичном рынке для получения арендных платежей при сдаче ее в аренду.

Для комплексной стратегии интересен вариант приобретения первичной недвижимости по договору долевого участия (ДДУ), получение рентного дохода и продажи по истечении 5 лет сдачи в аренду. Таким образом будет определен самый минимальный порог входа в инвестиции и минимальные затраты в связи с неуплатой налога, в данном случае также и максимальное увеличение стоимости объекта жилой недвижимости.



Рис. 1. Алгоритм принятия инвестиционного решения частным инвестором на рынке жилой недвижимости

Fig. 1. Algorithm for making an investment decision by a private investor in the residential real estate market

Определяя для себя сумму инвестиций, частный инвестор принимает решение, какой тип жилой недвижимости приобрести. Здесь важно инвестору определиться, в каком регионе, городе (населенном пункте) он планирует осуществлять свою инвестиционную деятельность, так как в различных регионах страны стоимость жилья может сильно отличаться.

После выявления конкретного объекта для инвестиций инвестор переходит к его оценке с точки зрения доходности. Расчет эффективности происходит доходным методом через дисконтирование. Здесь становится важным определение самой ставки дисконтирования. В предлагаемом подходе используется кумулятивный метод определения ставки. Однако в предлагаемой методике добавлен и риск искажения восприятия инвестиционных условий частным инвестором под влиянием его личностных качеств, рассчитываемый по формуле

$$R_d = R_f + R_1 + R_2 + R_3 + R_e, \quad (1)$$

где R_d – ставка дисконтирования; R_f – безрисковая норма доходности; R_1 – риск ликвидности; R_2 – риск вложения в недвижимость; R_3 – риск инвестиционного менеджмента; R_e – риск искажения восприятия инвестиционных условий частным инвестором под влиянием его личностных психоэмоциональных установок.

Риск искажения восприятия инвестиционных условий частным инвестором рассчитывается аналогично риску вложения в недвижимость, но корректируется на поправочный коэффициент. Необходимость корректировки вызвана индивидуальными особенностями частного инвестора как физического лица, представление которого может быть подвержено искажению в процессе восприятия информации. Характеристики, принятые во внимание для расчета риска искажения восприятия инвестиционных условий частным инвестором, были выявлены путем анализа оценочной деятельности в экономической литературе^{4,5} [4, 7, 8] и составляют совокупность следующих рисков:

- неполучения арендных платежей;

- неэффективного менеджмента частным инвестором;

- неправильного оформления договоров;

- дополнительного торга;

- предвзятости частного инвестора при принятии решения.

Полученное значение инвестора корректируется через поправочный коэффициент по формуле

$$R_e = \frac{\sum P}{C} \times k_e \times 100\%, \quad (2)$$

где P – значения, присвоенные частным инвестором; C – количество используемых характеристик в расчете; k_e – поправочный коэффициент.

Поправочный коэффициент, в свою очередь, также определяется тестированием инвестора для определения степени искажения им информации о себе.

В результате получается тот коэффициент риска, который наиболее приближен к итоговому результату частного инвестора в принятии его инвестиционных решений.

В результате можно сформировать финансовую модель в принятии решений частным инвестором об инвестировании в жилую недвижимость (рис. 2). Она состоит из 6 последовательных блоков.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Апробация методики оценки осуществлена на примере г. Санкт-Петербурга. По ключу к заполненной частным инвестором анкете было выявлено, что тестируемый отдает предпочтение смешанной стратегии инвестирования и желательным для него объектом для вложений является однокомнатная квартира в доме эконо-ком-класса или студия в доме комфорт-класса.

Далее частный инвестор определяет массив объектов, удовлетворяющих его предпочтениям.

Частным инвестором было выбрано 8 объектов: 4 студии в домах комфорт-класса и 4 однокомнатных квартиры в домах эконо-класса.

Площадкой для поиска объектов стала база объявлений об аренде и продаже недвижимости в г. Санкт-Петербурге и Ленинградской области – ЦИАН⁶.

⁴Автоматизированная финансовая оценочная система (АФОС) // [Электронный ресурс]. URL: <https://www.cepes-invest.com> (06.05.2022);

⁵АФОС. Оценка недвижимости // Оценка инвестиций [Электронный ресурс]. URL: <https://www.esm-invest.com/ru/online-service-AFOS> (02.05.2022)

⁶База объявлений об аренде и продаже недвижимости в Санкт-Петербурге и Ленинградской области // ЦИАН РФ [Электронный ресурс]. URL: <https://spb.cian.ru/> (02.05.2022).

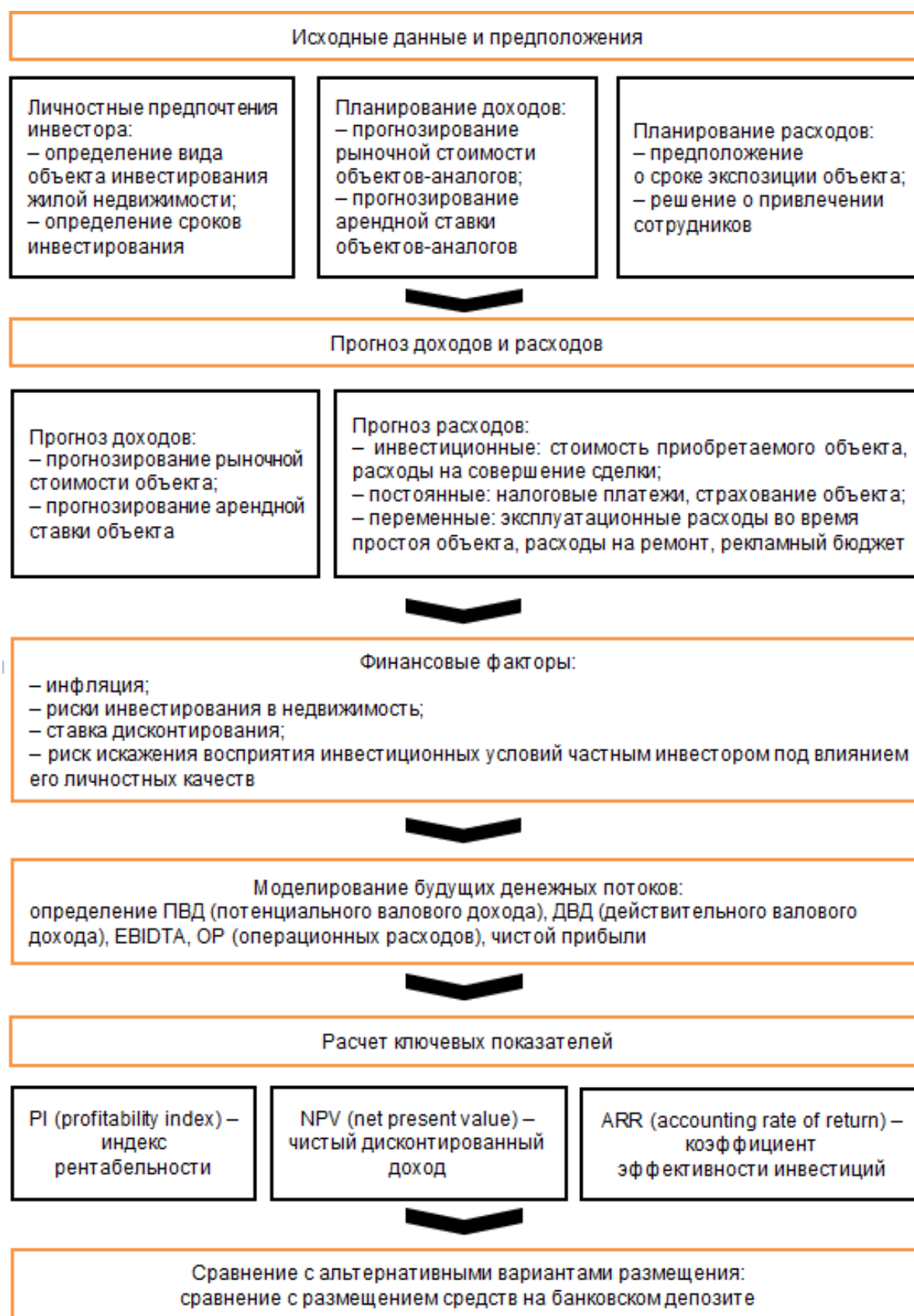


Рис. 2. Финансовая модель принятия решений частным инвестором об инвестировании в жилую недвижимость

Fig. 2. Financial model of decision-making by a private investor about investing in residential real estate

Объекты подобраны в сопоставимых сроках сдачи объектов и ввода в эксплуатацию, а также в ценовой категории до 7 млн руб. В результате диапазон цен составил 6,4–7 млн руб. Кроме этого, диапазон массива объектов был сужен до 8 объектов для возможности наглядного предоставления расчетов, однако диапазон может быть и более широким.

Согласно факторам и критериям частый инвестор самостоятельно проводит оценку всех объектов выбранного массива. С учетом коэффициентов и выбранной стратегией инвестирования, частный инвестор получил следующие результаты (табл. 1).

Согласно проведенной оценке частному инвестору рекомендуется сделать выбор в пользу приобретения студии в ЖК «Pulse Premier».

Далее частный инвестор проводит оценку выбранного объекта на его доходность. В первую очередь инвестору необходимо определить потенциальный валовый доход выбранного объекта. Для этого им выбирается 3 объекта-аналога, и арендные ставки объектов-аналогов корректируются с учетом отличий от оцениваемой недвижимости.

Для определения корректировочных ко-

эффициентов используем справочник типовых рыночных корректировок для рынка жилой недвижимости в онлайн-сервисе Автоматизированной финансовой оценочной системе, в экономическом научном журнале «Оценка инвестиций»⁵.

Скорректированные арендные ставки объектов-аналогов находятся в диапазоне 20 602–24 343 руб/мес.

В качестве расчетного значения арендной ставки оцениваемой недвижимости принимается среднее значение полученного диапазона ставок, которое составляет 22 472 руб/мес. Рассчитаем ставку дисконтирования (табл. 2).

Безрисковую норму доходности определим как долгосрочный бескупонный доход по облигациям федерального займа со сроком погашения 7 лет. Такой срок выбран ввиду того, что выбранный частным инвестором объект будет сдан в эксплуатацию через 2 г. по состоянию на май 2022 г. и будет сдаваться после еще 5 лет согласно выбранной им стратегии.

По данным ЦБ РФ на 29.06.2022 г. доходность по ОФЗ составляет 8,68%.

Премия за ликвидность. Так как срок экспозиции студии в новостройке составляет 1 месяц, поэтому премия будет равна 0,72%.

Таблица 1. Результаты оценки выбранного массива объектов частным инвестором*

Table 1. Results of evaluation of the selected array of objects by a private investor

Фактор	1-комн. кв. в домах эконом-класса				Студия в домах комфорт-класса			
	Солнечный город Резиденции	Образцовый квартал	Friends	Ручьи	Pulse Premier	Аквилон Zalive	Аквилон Leaves	Панорама парк Сосновка
Местоположение	6,8	8,5	6,8	6,8	12	8	8	10
Инфраструктура	4,8	2,4	5,6	4,8	5,4	5,4	5,4	5,4
Экология	4,55	4,55	6,3	4,2	7,6	5,2	7,6	7,6
Благоустройство двора	5	3,5	3,5	3,5	4,8	5,4	6	5,4
Надежность застройщика	21	21	21	21	21	21	21	21
Площадь жилья	2,1	3,6	3,6	3	3,6	3,6	3,6	3
Этаж	0,9	0,9	1,8	2,1	2,1	2,1	2,1	3
Планировка	1,6	1,4	2	2	2	2,4	2,4	2
Эксплуатационные расходы	3	3	3	3	3	3	3	3
Качество ремонта	8	4	8	8	10	10	10	10
Качество строительства	1	1	1	0,7	2	2,4	2	2
Паркинг	1	0,8	0,8	0,8	2	2	2	2
Внешний вид дома	1	1	1	1	1	1	1	1
Доп. места хранения	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
ИТОГО	61,95	56,85	65,6	62,1	77,7	72,7	75,3	76,6

*составлено по результатам проведенной оценки частным инвестором.

Риск инвестирования в недвижимость составляет на июнь 2022 г. 2,5%. Ситуация с санкционными ограничениями и нестабильность на международном уровне повышают риски. Премия за инвестиционный менеджмент при оценке жилой недвижимости в виде квартир составляет 1,0%.

Риск искажения восприятия инвестиционных условий частным инвестором рассчитывается по данным ответов частного инвестора.

В табл. 3 представлены результаты ответов анкетизируемого частного инвестора.

По полученным данным риск составляет 2,4%. Однако с учетом поправочного коэффициента, значение которого было рассчитано согласно результатам анкетирования и составило 1,7, в результате индивидуальный риск тестируемого инвестора составит 4,08% (из-за большого объема анкеты и проводимых расчетов по ключам к тестам в данной статье они не приводятся).

При учете риска искажения восприятия инвестиционных условий частным инвестором под влиянием его личностных качеств, расчетная ставка дисконтирования составит

16,98% против 12,9% без учета этого риска. Это влияет на остальные показатели, связанные с инвестированием в выбранный объект, что представлено в табл. 4.

Следует отметить, что расчеты построены на прогнозных данных Министерства экономического развития⁷. Согласно приведенным данным, инвестиции в обоих случаях могут быть осуществлены, так как значение PI в обоих вариантах > 1 и ARR > 0. При этом становится очевидным, что при учете в расчетах индивидуальных качеств инвестора, возрастает вероятность недополучения дохода. В данном расчете недополученная сумма дохода составит 444 693 руб.

Анкетизируемый инвестор, исходя из результата его ответов, считает, что может пойти на уступки арендатору и снизить арендную ставку.

Кроме того, при возникновении спорной ситуации может не потребовать оплаты, не обратиться в суд для решения спора в свою пользу. А также согласно ключам к заполненной инвестором анкете, анкетизируемый может предвзято отнестись к выбору инвестиционного объекта,

Таблица 2. Расчет ставки дисконтирования

Table 2. Calculation of the discount rate

Параметр	Значение, %	
	Без учета индивидуальных качеств частного инвестора	С учетом индивидуальных качеств частного инвестора
Безрисковая норма доходности	8,68	8,68
Риск ликвидности	0,72	0,72
Риск инвестирования в недвижимость	2,5	2,5
Риск инвестиционного менеджмента	1	1
Риск искажения восприятия инвестиционных условий частным инвестором	–	4,08
ИТОГО ставка дисконтирования	12,90	16,98

Таблица 3. Определение поправки на риск инвестиций в недвижимость частным инвестором под влиянием индивидуальных качеств

Table 3. Determination of the correction for the risk of real estate investments by a private investor under the influence of individual qualities

Характеристика	Значимость (1–5 баллов)
Неполучение арендных платежей	2
Неэффективный менеджмент	3
Неправильное оформление договоров	1
Дополнительный торг	3
Предвзятость при принятии решения	3

⁷Основные параметры сценарных условий прогноза социально-экономического развития Российской Федерации на 2023 г. и на плановый период 2024 и 2025 гг. // Минэкономразвития России [Электронный ресурс]. URL: https://www.economy.gov.ru/material/directions/makroec/prognozy_socialno_ekonomicheskogo_razvitiya/osnovnye_parametry_scenarnyh_usloviy_prognoza_socialno_ekonomicheskogo_razvitiya_rf_na_2023_god_i_na_planovyy_period_2024_i_2025_godov.html (29.06.2022).

Таблица 4. Основные показатели осуществляемых инвестиций частным инвестором
Table 4. The main indicators of investments made by a private investor

Показатель	Значение	
	Без учета индивидуальных качеств частного инвестора	С учетом индивидуальных качеств частного инвестора
Цена покупки объекта, руб.	6 600 173	6 600 173
Цена объекта через 7 лет, руб.	10 625 750	10 625 750
Ставка дисконтирования, %	12,90	16,98
Чистый дисконтированный доход от продажи объекта, руб.	1 592 409	1 242 035
Чистый дисконтированный доход от сдачи объекта за весь период, руб.	606 453	512 133
Чистый дисконтированный доход (NPV), руб.	2 198 862	1 754 169
Индекс рентабельности (PI)	1,33	1,27
Коэффициент эффективности инвестиций (ARR)	0,33	0,27

несмотря на данные расчетов по методике, и сделать выбор не в пользу наиболее приемлемого объекта. Также он определен как инвестор, у которого могут возникнуть сложности и при оформлении необходимых документов. Все эти последствия имеют финансовое выражение, представленное в табл. 5.

Расчет недополучения арендных платежей и неправильное оформление договоров рассчитан из суммы:

- 1 мес. арендного платежа;
- сумма неэффективного менеджмента как штраф в 30% от суммы неуплаченных налогов;
- дополнительный торг – 2,5% от суммы ЧОД от сдачи в аренду и 2% от цены продажи;
- предвзятость при принятии решения.

Недополучение дохода в данном случае составит 2%. В результате полученные расчетные данные отличаются от данных, полученных в методике на 8308 р., что составляют отклонение в 2%.

Полученный результат подтверждает, что предлагаемая методика дает репрезентатив-

ные результаты и может быть применена при оценке жилой недвижимости частным инвестором для принятия инвестиционных решений, основанных на его индивидуальных качествах. Финансовая модель реализована в виде стандартной таблицы программы *Microsoft Excel*. С ее помощью частный инвестор рассчитал выручку от основной деятельности, объем затрат, валовую и чистую прибыль, EBITDA.

Для принятия окончательного решения об инвестировании в жилую недвижимость частному инвестору необходимо провести анализ доходности при альтернативном размещении средств. За альтернативные варианты принято применять ставку по вкладам в банк как один из наиболее безрисковых вложений. Для сравнения были выбраны 4 банка в России.

На сегодняшний день ни один банк не предлагает продуктов по вкладам со сроком 7 лет, поэтому были выбраны те банки, которые предлагают на момент проведения оценки депозиты со сроком размещения от 1 года. Далее проведем сравнение (табл. 6).

Таблица 5. Финансовые потери анкетированного частного инвестора, которые он несет, исходя из его личностных качеств

Table 5. Financial losses of the surveyed private investor, which he bears, based on his personal qualities

Параметр	Сумма, руб.
Неполучение арендных платежей	22 472
Неэффективный менеджмент	63 265
Дополнительный торг	249 130
Неправильное оформление договоров	22 472
Предвзятость при принятии решения	95 661
ИТОГО	453 001

Таблица 6. Предложения банков в России по размещению денежных средств физическими лицами на депозите сроком на 1 год (по состоянию на 29.06.2022)*

Table 6. Proposals of banks in the Russia on the placement of funds by individuals on deposit for a period of 1 year (as of 29.06.2022)

Показатель	Способ размещения актива					
	Приобретение объекта жилой недвижимости		Депозит в банке			
	без учета индивидуальных качеств частного инвестора	с учетом индивидуальных качеств частного инвестора	Альфа Банк	Газпромбанк	Тинькофф	Сбербанк
Чистый дисконтированный доход (NPV), руб.	2 198 862	1 754 169	2 572 325	2 250 941	1 976 501	1 615 396
Индекс рентабельности (PI)	1,33	1,27	1,39	1,34	1,30	1,24
Коэффициент эффективности инвестиций (ARR)	0,33	0,27	0,39	0,34	0,30	0,24

*составлено на основе данных табл. 4 и информации сайтов ПАО «Сбербанк России», АО «Газпромбанк», АО «Альфа-банк», АО «Тинькофф банк»⁸.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из полученных данных, частный инвестор может принять окончательное решение по инвестированию располагаемых денежных средств. Полученные данные демонстрируют, что частный инвестор получит положительный инвестиционный эффект и при инвестировании в выбранный объект жилой недвижимости, и при размещении на депозите денежных средств в банках.

Однако здесь важно учесть следующие факторы: в проводимом сравнении были рассмотрены депозиты со сроком размещения в 1 год. Получить расчеты при размещении депозитов на 7 лет, как этого требует методика, не представляется возможным. Кроме того, при расчетах учтена инфляция, которая на сегодняшний день имеет лишь прогнозное значение. Анализируя полученные расчеты,

можно заключить, что частному инвестору, подверженному сильному влиянию его личностных качеств, будет выгоднее рассмотреть размещение денежных средств на депозите. Но если частный инвестор предполагает, что сможет управлять своими индивидуальными рисками и снизить их, то он может сделать выбор в пользу инвестирования в жилую недвижимость.

Проведенные расчеты продемонстрировали, что предлагаемая методика является эффективной и дает возможность проведения оценки жилой недвижимости с помощью идентификации собственных инвестиционных предпочтений. Представленная методика легко переводится в цифровой формат, и некавалифицированный частный инвестор может использовать ее в качестве приложения к смартфону.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Финогенова Ю. Ю. Психология восприятия рисков частными инвесторами // Управление риском. 2011. № 1 (57). С. 55–64.
2. Павельева Э. Ю. Понятие частного инвестирования в России: формирование и современные тенденции // Высшая школа: научные исследования: материалы Межвузовского науч. конгресса (г. Москва, 31 декабря 2019 г.).

- Уфа: Инфинити, 2019. Т. 2. С. 8–14.
3. Стерник С. Г. Развитие оценки недвижимости сравнительным подходом на основе методологии дискретного пространственно-параметрического анализа и моделирования рынка // Аудит и финансовый анализ. 2009. № 5. С. 130–137.
4. Коваленко Е. А. Теория поведенческих финансов и ее применение к прогнозированию до-

⁸Вклады и счета // ПАО «Сбербанк» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sberbank.ru/ru/person/contributions/depositsnew> (29.06.2022);

Частным клиентам // АО «Газпромбанк» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gazprombank.ru/> (29.06.2022);

Частным лицам // АО «Альфа-Банк» [Электронный ресурс]. URL: <https://alfabank.ru/make-money/deposits/> (29.06.2022);

Вклады [Электронный ресурс]. URL: <https://www.tinkoff.ru/deposit/> (29.06.2022).

ходности финансовых активов // Информационные системы и математические методы в экономике. 2012. № 5. [Электронный ресурс]. URL: <http://ismme.esrae.ru/pdf/2012/5/326.pdf> (08.04.2022).

5. Овчинникова Ю. Е. Психологические факторы принятия инвестиционного решения // Человеческий капитал. 2020. № 1 (133). С. 177–184.

6. Тимофеев А. А. Применение поведенческих финансов в прогнозировании доходности финансовых рынков // Проблемы современной экономики (Новосибирск). 2016. № 29. С. 113–118.

7. Pandey R., Jessica V. M. Sub-optimal behavioural biases and decision theory in real estate: The role of investment satisfaction and evolutionary psychology // International Journal of Housing Markets and Analysis. 2019. Vol. 12. No. 2. P. 330–348. <https://doi.org/10.1108/IJHMA-10-2018-0075>.

8. Stein M. Limits to diversification: Tail risks in real estate portfolios // The Journal of Alternative Investments. 2017. No. 20 (1). P. 61–80.

<https://doi.org/10.3905/jai.2017.20.1.061>.

9. Пыхтеева И. В., Виноградов А. В. Перспективы развития экономики шеринга и ее влияние на рыночные отношения // Образование, культура, общество. Социально-экономические и гуманитарные науки. Психология, спорт, здравоохранение: материалы конференций ГНИИ «Нацразвитие» (г. Санкт-Петербург, 28–30 августа 2018 г.). Санкт-Петербург: Гуманитарный национальный исследовательский институт «Нацразвитие», 2018. С. 117–124.

10. Штарк Л. В., Саенко И. А., Шаропатовой А. В. Теоретические основы оценки инвестиционной привлекательности жилой недвижимости // Russian economic bulletin. 2020. Т. 3. № 1. С. 84–87.

11. Харламов А. В., Захаров А. В. К вопросу о моделях ценообразования и сегментации рынка жилой недвижимости // Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета. 2019. № 1 (75). С. 145–150.

REFERENCES

1. Finogenova Yu. Yu. Psychology of risk perception by private investors. *Upravlenie riskom*. 2011;1:55-65. (In Russ.).

2. Pavelieva E. Y. The concept of private investment in Russia: formation and modern trends. *Vysschaya shkola: nauchnye issledovaniya: materialy Mezhevuzovskogo nauchnogo kongressa = Higher School: Scientific research: materials of the Interuniversity Scientific Congress*. 31 December 2019, Moscow. Ufa: Infiniti, 2019. Vol. 2. p. 8-14. (In Russ.).

3. Sternik S. G. Real-estate estimate development by comparative approach on the basis of methodology of sampling space-parametric analysis and market modulation. *Audit i finansovyi analiz = Audit and financial analysis*. 2009;5:130-137. (In Russ.).

4. Kovalenko E. A. Theory of behavioral finance and its application to forecasting the profitability of financial assets. *Information systems and mathematical methods in economics*. 2012. No. 5. Available from: <http://ismme.esrae.ru/pdf/2012/5/326.pdf> [08th April 2022]. (In Russ.).

5. Ovchinnikova Yu. E. Psychological factors of decision-making investment decision. *Chelovecheskiy kapital*. 2020;1:177-184. (In Russ.). <https://doi.org/10.25629/HC.2020.01.21>.

6. Timofeev A. A. Application of behavioral finance in forecasting the profitability of financial markets. *Problemy sovremennoi ekonomiki (Novosibirsk)*. 2016;29:113-118. (In Russ.).

7. Pandey R., Jessica V. M. Sub-optimal behavioural biases and decision theory in real estate: The role of investment satisfaction and evolutionary

psychology. *International Journal of Housing Markets and Analysis*. 2019;12(2):330-348. <https://doi.org/10.1108/IJHMA-10-2018-0075>.

8. Stein M. Limits to diversification: Tail risks in real estate portfolios. *The Journal of Alternative Investments*. 2017;20(1):61-80. <https://doi.org/10.3905/jai.2017.20.1.061>.

9. Pykhteeva I. V., Vinogradov A. V. The perspectives of sharing economy development and its influence on market relations. *Obrazovanie, kul'tura, obshchestvo. Sotsial'no-ekonomicheskie i humanitarnye nauki. Psikhologiya, sport, zdorovookhraneniye: materialy konferentsii Gumanitarnogo natsional'nogo issledovatel'skogo instituta "Natsrazvitiye" = Education, culture, society. Socio-economic and humanitarian sciences. Psychology, sports, healthcare: conference materials of the Humanitarian National Research Institute "National Development"*. 28-30 August 2018, Sankt-Peterburg. Sankt-Peterburg: Humanitarian National Research Institute "National Development"; 2018. p. 117-124. (In Russ.).

10. Shtark L. V., Saenko I. A., Sharopatova A. V. Theoretical basis for assessing investment attractiveness of residential real estate. *Russian economic bulletin*. 2020;3(1):84-87. (In Russ.).

11. Kharlamov A. V., Zakharov A. V. Overview of the models of pricing and segmentation of residential real estate market. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo sotsial'no-ekonomicheskogo universiteta = Bulletin of the Saratov State Socio-Economic University*. 2019;1:145-150. (In Russ.).

Информация об авторах

Э. Ю. Павельева,
стажер кафедры финансов,
Санкт-Петербургский государственный
экономический университет,
191023, г. Санкт-Петербург, ул. Садовая, 21,
Россия,
e-mail: ella55555@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3189-5981>

Н. Ю. Пузыня,
кандидат экономических наук, доцент,
доцент кафедры финансов,
Санкт-Петербургский государственный
экономический университет,
191023, г. Санкт-Петербург, ул. Садовая, 21,
Россия,
e-mail: n_puzynya@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7503-2347>

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 03.10.2022.
Одобрена после рецензирования 01.11.2022.
Принята к публикации 04.11.2022.

Information about authors

Ella Y. Paveleva,
Intern of the Finance Department,
Saint Petersburg State University of Economics,
21 Sadovaya St., Saint Petersburg 191023,
Russia,
e-mail: ella55555@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3189-5981>

Natalia Y. Puzynya,
Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Finance,
Saint Petersburg State University of Economics,
21 Sadovaya St., Saint Petersburg 191023,
Russia,
e-mail: n_puzynya@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7503-2347>

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

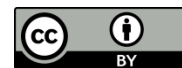
Conflict interests

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

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

Information about the article

The article was submitted 03.10.2022.
Approved after reviewing 01.11.2022.
Accepted for publication 04.11.2022.



Влияние концепции «Умный город» на инвестиционную привлекательность города

Павел Александрович Петров¹, Наталья Сергеевна Хохлова²

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

²Байкальский государственный университет, г. Иркутск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Петров Павел Александрович, urzairk@gmail.com

Аннотация. Целью данной работы является исследование механизмов влияния концепции «Умный город» на инвестиционную привлекательность городских территорий. Актуальность данной темы подтверждается существующим запросом общества и государства на привлечение дополнительных инвестиционных потоков для развития городов. В связи с этим государство уделяет особое внимание вопросам повышения уровня жизни жителей города, так как это влечет за собой положительные изменения в инвестиционном климате городских территорий. В работе определены механизмы влияния концепции «Умный город» на уровень жизни горожан и взаимосвязь между инвестиционной привлекательностью территории и показателями качества жизни. На основе системного подхода сформулированы механизмы принятия решений на муниципальном уровне и доказана необходимость разработки стратегии применения инструментария концепции «Умный город». Сделаны выводы о необходимости пересмотра парадигмы управления городскими поселениями с учетом актуального уровня развития социально-экономической сферы. Сформулированы технологические основы и механизмы для внедрения наработок данной концепции. В итоге эффективное управление городами с использованием современных информационных технологий и актуальных технических решений при условии эффективно отлаженного механизма целеполагания и определения показателей эффективности позволит повысить уровень инвестиционной привлекательности городов в условиях допустимой конкуренции между ними в рамках страны.

Ключевые слова: инвестиции, развитие городов, умный город, управление сложными системами, качество жизни, Интернет вещей, государственные услуги

Для цитирования: Петров П. А., Хохлова Н. С. Влияние концепции «Умный город» на инвестиционную привлекательность города // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 4. С. 512–520. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-512-520>.

Original article

Impact of "Smart City" concept on the investment potential of a city

Pavel A. Petrov¹, Natalia S. Khokhlova²

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

²Baikal State University, Irkutsk, Russia

Corresponding author: Pavel A. Petrov, urzairk@gmail.com

Abstract. This article addresses the influence of the Smart City concept on the investment potential of urban areas due to the existing demand of society and the state to attract additional investment flows for urban development. In this regard, the state pays special attention to improving the living standards of urban residents, since it leads to a positive change in the investment potential of urban areas. This paper identifies the mechanisms of influence exerted by the Smart City concept on the living standards of citizens, as well as the relationship between the investment potential of the area and quality of life indicators. On the basis of a systematic approach, the mechanisms of decision-making at the community level were formulated, with the necessity of developing a strategy for applying the tools of the Smart City concept being proven. It was concluded that it is necessary to review the management of urban

settlements, given the current level of socio-economic development. The technological principles and mechanisms for the implementation of this concept were formulated. As a result, efficient city management using modern information technology and technical solutions, provided the efficient goal setting and determination of performance indicators, will improve the level of investment potential of cities under the admissible competition between them within the country.

Keywords: investment, urban development, smart city, management of complex systems, quality of life, Internet of things, public services

For citation: Petrov P. A., Khokhlova N. S. Impact of "Smart City" concept on the investment potential of a city. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(4):512-520. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-512-520>.

ВВЕДЕНИЕ

Разработка концепции «Умных городов» началась в конце 1990-х гг., но активное развитие в городском управлении она получила во втором десятилетии XXI в. Основной ее смысл заключается в тесной интеграции информационных и коммуникационных технологий, а также использовании концепции Интернета вещей в системе управления городским хозяйством. Современный город возможно рассматривать только с позиции комплексной и сложной системы, которая требует учета большого количества факторов, оказывающих влияние на ее текущее функционирование и успешное развитие в перспективе.

Предпосылки возникновения концепции «Умный город»

Существующие на сегодняшний день разработки концепции «Умный город» подразумевают формирование различных решений, повышающих комфорт проживания населения, а также эффективность управления городским хозяйством. Сложность в изучении подобных изменений заключается в том, что методы их исследования и оценки показателей деятельности находятся в разных сферах науки и практической деятельности. При анализе проведенных мероприятий используются следующие подходы: городского и муниципального управления, экономической науки, урбанистики, оценки качества жизни населения городов, методы оценки и эффективности использования информации, методы прогнозирования и анализа рисков. Вместе с тем оценить какой-либо аспект рассматриваемой концепции с позиции только одной отрасли науки редко представляется возможным ввиду чрезмерной сложности города как системы [1].

Исторически город рассматривается как крупный населенный пункт. Аккумуляция до-

статочного количества населения в одной географической локации запускала определенные процессы при достижении неких условных порогов по численности. С развитием и ростом городов у них складывалась определенная специализация – формировались образовательные, культурные и научные центры, некоторые города принимали определенное оборонительное значение и становились центрами военной мощи государства и т.д. Вместе с этим менялся уровень жизни городского населения, что выражалось в том числе и в повышении требований горожан к качеству жизни, а также в возникновении кардинально новых потребностей. Все это исторически сформировало тенденцию развития городов в сторону повышения сложности и многофакторности их как систем. Исходя из сказанного и основываясь на положениях теории управления, можно сделать вывод о том, что город как объект системного подхода в исторической перспективе становится все более сложной системой. А чем сложнее система, тем выше уровень технологий и подходов, которые необходимо применять для поддержания стабильной динамики развития.

С середины XX в. начинают развиваться информационные технологии, а в начале XXI в. именно они становятся одним из основных инструментов для управления сложными и ультрасложными системами, к которым, безусловно, можно отнести современные города. Г. Н. Поваров в своей классификации систем выделил сложные системы, состоящие из 10^4 – 10^6 элементов, и ультрасложные, состоящие более чем из 10^7 элементов [2]. На сегодняшний день «Умный город» – это результат синергии современных информационных технологий и механизмов управления городским хозяйством¹.

¹Экспертно-аналитический доклад «Приоритетные направления внедрения технологий умного дома в российских городах» // Фонд «Центр стратегических разработок» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.csr.ru/upload/iblock/bdc/bdc711b002e9651fb2763d98c7f7daa6.pdf> (31.08.2022).

Процесс управления подразумевает принятие решений, влияющих на развитие контролируемой системы. Для оценки качества принятых решений необходимо определить некий пул показателей эффективности и результативности, по динамике которых можно делать вывод о корректности принимаемых управленческих воздействий. Найти единое общепринятое определение концепции «Умный город» на сегодняшний день не представляется возможным. Это лишь условное наименование идеи, за которой скрываются различные смыслы в разных точках мира. На сегодняшний день основными драйверами развития данного направления являются страны юго-восточной Азии (страны АСЕАН), Европа и Россия. Отметим, что в 2022 г. в России программу развития «Умный город» курирует Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой РФ)².

Определение инвестиционной привлекательности города

Развитие городских территорий на современном этапе невозможно без привлечения существенных объемов инвестиций. Условно можно разделить инвестиции по источникам финансирования – собственные и привлеченные.

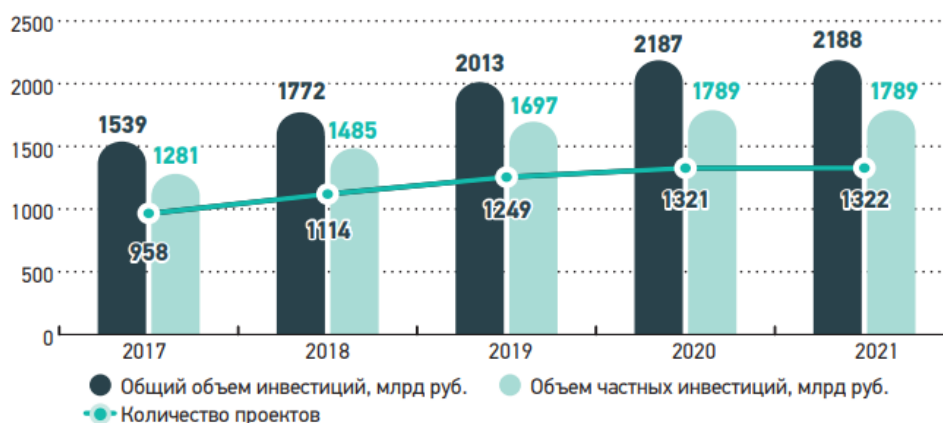
К первой категории относятся средства, используемые для развития города, выделенные из бюджета самого города, а ко второй категории инвестиций – материальные средства, вложенные в развитие города сторонними организациями, лицами, а также иными государственными институтами.

Если рассматривать инвестирование на базовом уровне – это вложение определенных материальных средств с целью получения дополнительных благ или прибыли.

Существует определенное отличие в отношении к инвестированию у частных компаний и частных лиц от инвестирования со стороны государства. Если для первых – инвестирование должно привести количественно к определенному результату, то для государства инвестирование в развитие территорий – это скорее вложение с целью получения некоего качественного результата. А качественные показатели, как известно, достаточно проблематично оценить, а тем более сравнить с показателями развития других систем.

В современной России сложилась ситуация, когда объем инвестирования в развитие городов со стороны государственных институтов превышает, а в некоторых случаях значительно превышает частный капитал, инвестируемый в данное направление (рисунок)³.

Объем инвестиций в проекты по развитию городской инфраструктуры накопленным итогом



Реализуются на сегодняшний день



Примечание: включая проекты, завершённые по окончании срока действия соглашения. Проекты коммунально-энергетической инфраструктуры с общим объемом инвестиций менее 100 млн руб. с 2020 г. не учитываются в статистике

Источник: расчеты Национального Центра ГЧП на основе данных платформы «РОСИНФРА»

Соотношение инвестиций в развитие городской инфраструктуры The ratio of investments in the development of the urban environment

²Цифровизация городского хозяйства «Умный город»: паспорт ведомственного проекта // Минстрой России [Электронный ресурс]. URL: https://www.minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/9fe/pasport-proekta-31.10.2018_695_pr_YAkushev_V.V._CHibis_A.V.pdf (31.08.2022).

³Инвестиции в развитие городской инфраструктуры: зарубежные и российские тренды // Национальный центр ГЧП [Электронный ресурс]. URL: <https://pppcenter.ru/upload/iblock/e74/e7449111d9d1fcfc2a1030a21adcffab.pdf> (31.08.2022).

Органы государственной власти столкнулись с ситуацией, когда необходимо было каким-то образом перевести показатели развития из качественной категории в количественную. Основным результатом данных мероприятий становится повышение уровня управляемости ввиду возможности объективной оценки управленческих воздействий и оценки эффективности использования ресурсов. В ходе реформ систем государственного и муниципального управления в различных программах и мероприятиях начали появляться методики оценки эффективности и результативности, что теоретически должно было оказать положительное влияние и на развитие городских поселений.

С точки зрения инвестирования сложилась патовая ситуация. С одной стороны находятся городские власти, которые хотят вовлечь бизнес в улучшение показателей города и в повышение качества жизни населения, с другой стороны – бизнес, который готов инвестировать, но заинтересован в определенных гарантиях результата со стороны властей. Данное противоречие проходит «красной нитью» в отношениях между властями и частными инвесторами и существенным образом тормозит процесс такого партнерства, хотя есть и яркие положительные примеры: Газпром в г. Санкт-Петербурге, EN+ в г. Иркутске и т.п.

Поэтому необходимо, для начала, определить логику процесса инвестирования в городское хозяйство, понять смыслы, которые видит бизнес от вложения денег в данную сферу. Базовая функция любого бизнеса – получение прибыли. В зависимости от сферы деятельности, это могут быть как короткие производственные цепочки, так и достаточно длинные и запутанные, но в конечном итоге они приводят к действию, когда обычный человек (в данном случае горожанин) тратит деньги на покупку некоего товара или на оплату определенной услуги. После данного действия все участники рассматриваемой цепочки фиксируют прибыль. Другими словами, фиксируется в материальном виде та добавленная ценность, которая была сформирована. Отсюда возникает два варианта решения: первый – увеличение количества горожан в рамках населенного пункта, и второй – увеличение их платежеспособности при неизменной численности населения. Исторически сложилось мнение, что рост уровня платежеспособности возможен при повышении качества жизни на рассматриваемой территории, так как это приводит к положительной миграции высококвалифицированных и образованных людей в

город, условно – более эффективных людей.

Город как экстремально сложная система управления

Направления повышения качества жизни в рамках городских поселений достаточно хорошо описаны разными исследователями и практиками: К. Маркс, Ф. Энгельс, М. Вебер, Л. Уирт, Э. Бёрджесс и др. К ним можно отнести: повышение уровня культуры, образования, комфорта проживания и т.п. Но все эти аспекты сложно оценить, а с учетом постоянного увеличения уровня вариативности потребностей человека данная задача становится невыполнимой при использовании классических решений. Фактически возникла ситуация, когда для успешного развития города уже недостаточно знать, какая температура горячей воды течет из крана и сколько автобусов находится в распоряжении транспортного управления города. Необходимо понимать и знать потребности каждого жителя, а они разнообразны и их много, и более того – они не всегда коррелируются между собой. Таким образом, перед нами возникает система с сотнями тысяч элементов, у каждого из которых десятки параметров, влияющих на эффективность ее функционирования.

Теория управления для подобных систем предлагает расширенное использование информации в качестве одного из инструментов для решения поставленных задач. Исходя из вышесказанного, ограничим наше исследование областью повышения уровня жизни горожан как одного из драйверов для повышения инвестиционной привлекательности городских территорий.

Базовое управление городом подразумевает его деление на определенные территории. Например, промышленные районы, жилая застройка, научные кластеры и т.п. Буквально 10–20 лет назад управление городом выполнялось в рамках подобных категорий, но социально-экономическое развитие вынуждает институты управления уйти на микроуровень с детализацией по отдельному человеку, а это огромные объемы информации [3], сложности при целеполагании и в перенастройке исполнительных механизмов [4].

Современные информационные технологии в управлении городом

Актуальный уровень развития информационных технологий с середины второго десятилетия XXI в. предлагает механизмы управления экстремально сложными системами. В разрезе систем управления городом можно выделить технологии больших данных и технологии Интернета вещей. Второе направле-

ние легло в основу концепции «Умного города».

Условно город «должен знать» все, что происходит в нем, с каждым человеком, каждым светофором и каждым автобусом и обязательно в формате сравнимых чисел. Дальше эти данные должны лечь в основу принятия решений, а с учетом количества подобных решений – этот процесс должен быть автоматизирован. Есть альтернативный путь – наделение полномочиями принятия решений большего количества лиц.

Если мы говорим о городе, то возможно, чтобы каждый горожанин принимал решение самостоятельно, но в условиях общих ограничений и механизмов решения конфликтных ситуаций, иначе «всегда и всем будет гореть зеленый свет на перекрестке».

Интернет вещей – технология обмена данными между физическими объектами⁴. В рамках городского хозяйства при ее помощи возможно налаживание взаимодействия между объектами инфраструктуры, повышение эффективности ее использования, сокращение издержек, исключение необходимости участия человека в принятии определенных решений. При обращении к экономической модели с участием некоего работающего горожанина был определен показатель – качество использования рабочего времени [5]. Например, если работник знает, что он без пробок доберется до работы в назначенное время, а следовательно, он потратит гораздо меньше времени на дорогу и сможет посвятить свое утреннее время занятию спортом, то качество его жизни улучшится, на работу он приедет в хорошем эмоциональном и физическом состоянии, и его работоспособность будет на высоком уровне. А другой работник знает, что ему необходимо несколько часов провести в пробке, придется встать раньше, он будет не в духе и уже уставшим приедет на работу.

Логично, что любой бизнес заинтересован в первом варианте и именно поэтому организует доставку работников до предприятия, сдвигает часы работы для улучшения транспортной доступности и т.п. Принципиально ситуация имеет два варианта решения: инвестирование бизнеса в город при участии властей или инвестирование бизнеса в горожан в обход властей. Одной из сфер применения Интернета вещей является направление оптимизации транспортных потоков. Это одна из

первых технологий концепции «Умный город». «Умные» светофоры, автоматизированное реверсивное движение, проектирование новых дорог с учетом трафика и т.п. Еще одним направлением концепции «Умный город» является вовлечение гражданина в принятие решений по развитию того населенного пункта, в котором он обитает [6]. В современной социальной обстановке для человека важно осознавать, что он может влиять на окружающую его среду, менять вектор ее развития так, чтобы в том числе и ему было комфортно проживать на своей территории [7]. В государственных программах и мероприятиях профильные министерства и ведомства с недавнего времени уделяют повышенное внимание вовлечению граждан в процессы управления территориями⁵. С одной стороны, это повышает уровень ответственности чиновников и руководителей разных уровней, в определенной мере даже заставляет их общаться не просто с населением, а индивидуально с каждым жителем, а с другой стороны, часть ответственности за принятие решений перекладывается на граждан. У этой технологии управления есть свои преимущества и недостатки. На начальном этапе может возникать внутреннее сопротивление новациям как с одной, так и с другой стороны. Кроме этого, повышен уровень риска возникновения негативных последствий от принятых решений, недостаточный уровень компетенций представителей властей также может оказывать отрицательное влияние на развитие. Но возникает существенный объем информации, которого раньше не было – мнения отдельных граждан, что позволяет при использовании новых методов и подходов обработки данных вырабатывать качественно новые решения во благо развития города.

Таким образом, применение инструментальной концепции «Умный город» приводит к формированию очень большого объема информации. С подобными массивами данных органы государственного и местного самоуправления опыта работы не имеют. И данное утверждение актуально не только для России, но и для других стран. Безусловно, существуют примеры «Умных городов», но в большинстве своем все это сводится к инновациям в отдельных аспектах развития городских поселений [8]. Вопросы комплексной работы в данном направлении в исследованиях почти не рассматриваются. На сегодняшний день

⁴Internet Of Things // Gartner IT glossary [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gartner.com/it-glossary/internet-of-things/> (31.08.2022).

⁵Стандарт вовлечения граждан в решение вопросов развития городской среды // 100 городских лидеров [Электронный ресурс]. URL: <https://100gorodov.ru/standart> (31.08.2022).

профильные министерства только начали формировать методики и технологии работы в рассматриваемой сфере. Например, Минстрой России через тиражирование успешных региональных кейсов масштабирует в формате страны развитие концепции «Умный город»¹. Выше приведена пара примеров использования современных технологий в рамках концепции «Умный город». Но инструментов, который предлагают современные информационные технологии, существенно шире, и возникает задача правильного использования тех или иных методов. Без стратегического планирования, причем на разных уровнях управления, от государственного до территориального, может возникнуть ситуация, когда будет вложено большое количество ресурсов в развитие, но не получен соизмеримый результат. Отчасти сейчас это и наблюдается в России.

В приказе Минстроя РФ от 11.05.2022 № 357/пр⁶ предложен перечень показателей, рекомендуемый для оценки уровня цифровизации процессов, существующих в населенных пунктах в рамках реализации данной концепции. При детальном анализе данного перечня можно сделать вывод, что вопросы инвестиционной привлекательности напрямую не проработаны. Приведено 36 групп показателей, но как они вплетены в стратегическое развитие города – на этот вопрос Минстрой не дает четкого ответа. А без понимания базовых целей реализации данной программы у ответственных за ее реализацию чиновников возникает вполне ожидаемая реакция – сформировать отчетные показатели и думать, как их выполнить и обосновать документально в следующем отчетном периоде. Например, показатель 9.2 «Индекс реализации комплексной программы цифровизации сферы культуры». Зачем он нужен? Как изменится жизнь гражданина, если будет достигнуто значение 100 единиц (каких единиц?)? Точно такие же вопросы возникнут и у бизнеса, если к нему обратится мэр города с предложением помочь в улучшении данного показателя.

Грамотное формулирование стратегии применения концепции «Умного города», по-

нимание механизмов влияния на уровень жизни населения, его платежеспособность, потоки миграции и т.п. – все это позволило бы облегчить диалог с инвесторами и раскрутить маховик инвестирования в развитие городских территорий.

Перспективы внедрения системы «Умный город»

Важно отметить необходимость разработки стратегического плана по развитию концепции «Умный город» на территории РФ. Предпосылки для данной работы сформированы, запрос со стороны развивающегося гражданского общества существует, государство формулирует повестку по комфортной и качественной жизни городского населения. Технологически уровень развития сектора информационных технологий в России находится на высоком уровне.

В сфере отношений Государство – Гражданин можно отметить направление цифровизации государственных услуг. Данный кейс в мировом масштабе является одним из лидирующих по степени влияния на развитие качества жизни и оказания государственных услуг населению⁷. На региональном уровне можно отметить успешный опыт г. Москвы, которая в 2018 г. была признана ООН лидером по индексам оказания электронных услуг в мире⁸. Разработана и практически эксплуатируется техническая информационная инфраструктура для обеспечения функционирования крупномасштабных проектов в рамках страны и отдельных регионов.

Сформирован подход по трансляции успешных управленческих кейсов по вертикали власти от профильных министерств до отдельных поселений. Также важно отметить высокую скорость развития законодательной базы и правоприменительной практики относительно новых аспектов управления территориями.

Это и есть фундаментальные основы для старта практической реализации концепции «Умных городов». Следующим этапом должно стать изменение базовой парадигмы работы с показателями. Сегодня это работа всех – управленцев, бизнеса, населения – ради вы-

⁶Об организации исполнения ведомственного проекта Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации по цифровизации городского хозяйства «Умный город»: приказ Минстроя России от 11.05.2022 № 357/пр // Министерство жилищно-коммунального хозяйства Ростовской области [Электронный ресурс]. URL: <https://minjkh.donland.ru/upload/uf/065/f40smpx3gbat1caf4ljyvv8p8jxdyc3/novyy-standart.pdf> (31.08.2022).

⁷Исследование ООН: электронное правительство 2018 // United Nations.org [Электронный ресурс]. URL: https://publicadministration.un.org/egovkb/Portals/egovkb/Documents/un/2018-Survey/E-Government%20Survey%202018_Russian.pdf (31.08.2022).

⁸Концепция «Москва «Умный город – 2030» // Официальный сайт Мэра Москвы [Электронный ресурс]. URL: https://2030.mos.ru/netcat_files/userfiles/documents_2030/concept.pdf (31.08.2022).

полнения поставленных планов, без учета долгосрочной перспективы и конкретных результатов данной работы, без определения изменений в жизни каждого гражданина. Формирование стратегии в современном мире должно опираться на качественное целеполагание, в ходе которого должен быть определен перечень того, что конкретно поменяется в жизни отдельного человека, а в дальнейшем – как это повлияет на жизнь отдельных территорий (жилой комплекс, городской район, агломерация, регион и т.д.) [9]. Таким образом, органы власти разных уровней получают лучшую управляемость подконтрольных им систем [10]. На уровне городов внедрение данной концепции позволит сформировать новый уровень качества жизни горожан, определить пожелания отдельного гражданина и согласовать их с возможностями государства. Вместе с тем стоит отметить и возникновение осознанной и допустимой конкуренции между отдельными регионами и городами. Идея, которую транслирует на всю страну Минстрой России, в основе своей содержит успешные кейсы на местах. На сайте ведомственного проекта регулярно обновляется база решений, сформированных как отдельными муниципалитетами (система въезда и выезда с территорий в г. Пермь, автоматическая фиксация ПДД в г. Челябинске), так и частными

компаниями (Ujin OS, Антекс). И если город предлагает гражданину высокое качество жизни, то следом за ним и бизнес видит возможность для развития в данном муниципальном образовании, включается в процессы инвестирования и государственно-частного партнерства, что только положительно влияет на развитие территорий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внедрение концепции «Умный город» – один из перспективных инструментов для повышения качества жизни современного горожанина. Развитие городских поселений на качественном новом уровне, комплексный подход к планированию и оценке результатов деятельности в городе XXI в. возможны только с использованием актуальных технологической и информационной платформ.

Трансформация парадигмы управления и целеполагания в современной социально-экономической обстановке требуют пересмотра, а в большинстве случаев и отказа от консервативных методов управления сложными городскими системами.

Практическая сторона реализации «Умных городов» в принципе уже существует и на отдельных участках проработана. Необходима активизация работы по логическому наполнению сценариям применения данного инструментария.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Таунсенд Э. «Умные» города: большие данные, гражданские хакеры и поиски новой утопии / Пер. с англ. А. Шоломицкой. М.: Изд-во Института Гайдара, 2019. 398 с.
2. Поваров Г. Н. Об уровнях сложности систем // Методологические проблемы кибернетики: материалы к Всесоюзной конференции. Т. 2. М.: Институт философии, 1970. 389 с.
3. Семячков К. А. Цифровые данные как ключевой ресурс развития умных городов // Экономика, предпринимательство и право. 2020. Т. 10. № 12. С. 3003–3020. <https://doi.org/10.18334/epp.10.12.111345>.
4. Ребышева Л. В., Васильченко Е. В. Организация социального взаимодействия органов местного самоуправления с населением // Вестник Челябинского государственного университета. 2015. № 26 (381). С. 114–118.
5. Побиянская А. В., Потуданская В. Ф. Качество использования рабочего времени // Экономика труда. 2019. Т. 6. № 2. С. 883–894. <https://doi.org/10.18334/et.6.2.39879>.
6. Дусь Ю. П., Власкина Е. Я. «Житель всегда прав», или как вовлечь население в управление развитием территории. 2018. Т. 16. № 4. С. 612–623. <https://doi.org/10.24891/re.16.4.612>.
7. Kiuru J., Inkinen T. E-Capital and economic growth in European metropolitan areas: applying social media messaging in technology-based urban analysis // Journal of Urban Technology. 2020. Vol. 26. № 2. P. 67–88. <https://doi.org/10.1080/10630732.2019.1579513>.
8. Мухаметов Д. Р. Проблемы и перспективы реализации концепции «Умный город» в России (на примере Москвы) // Мир новой экономики. 2019. Т. 13. № 3. С. 81–88. <https://doi.org/10.26794/2220-6469-2019-13-3-81-88>.
9. Ямщикова Т. Н., Скоблякова И. В., Бухтиярова Д. А. Трансформация целей и приоритетов участников социально-трудовых отношений в рамках теории поколений // Экономика труда. 2019. Т. 6. № 4. С. 1437–1446. <https://doi.org/10.18334/et.6.4.40916>.
10. Федоненко М. В. Опыт развития «умных» городов в современном мире // Социально-экономические явления и процессы. 2019. Т. 14. № 2 (106). С. 61–72. [https://doi.org/10.20310/1819-8813-2019-14-2\(106\)-61-72](https://doi.org/10.20310/1819-8813-2019-14-2(106)-61-72).

REFERENCES

1. Townsend A. Smart Cities: Big Data, Civic Hackers, and the Quest for a New Utopia. Translated from the English by A. Sholomitsky. Moscow: PH of the Gaidar Institute; 2019. 398 p. (In Russ.).
2. Povarov G. N. About levels of system complexity. *Metodologicheskie problemy kibernetiki: materialy k Vsesoyuznoj konferencii = Methodological problems of cybernetics: materials for the All-Union Conference*. Moscow: Institute of Philosophy; 1970. Vol. 2. 389 p. (In Russ.).
3. Semyackov K. A. Digital data as a key resource for the smart cities development. *Ekonomika, predprinimatelstvo i pravo = Journal of economics, entrepreneurship and law*. 2020;10(12):3003-3020. (In Russ.). <https://doi.org/10.18334/epp.10.12.111345>.
4. Rebysheva L. V., Vasilchenko E. V. Organization of social interaction of local government with population. *Vestnik Chelyabinskogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Chelyabinsk state university*. 2015;26:114-118. (In Russ.).
5. Pobiyanskaya A. V., Potudanskaya V. F. The quality of working time use. *Ekonomika truda*. 2019;6(2):883-894. (In Russ.). <https://doi.org/10.18334/et.6.2.39879>.
6. Dus' Yu. P., Vlaskina E. Ya. The inhabitant is always right, or how to involve the population in the management of territory development. *Regionalnaya ekonomika: teoriya i praktika = Regional economics: theory and practice*. 2018;16(4):612-623. (In Russ.). <https://doi.org/10.24891/re.16.4.612>.
7. Kiuru J., Inkinen T. E-Capital and economic growth in European metropolitan areas: applying social media messaging in technology-based urban analysis. *Journal of Urban Technology*. 2020;26(2):67-88. <https://doi.org/10.1080/10630732.2019.1579513>.
8. Mukhametov D. R. Problems and prospects of realisation of the concept "Smart city" in Russia (on the example of Moscow). *Mir novoy ekonomiki = The World of New Economy*. 2019;13(3):81-88. (In Russ.). <https://doi.org/10.26794/2220-6469-2019-13-3-81-88>.
9. Yamschikova T. N., Skoblyakova I. V., Bukhtiyarova D. A. Transformation of objectives and priorities of participants of social and labor relations in the framework of generation theory. *Ekonomika truda = Russian journal of labor economics*. 2019;6(4):1437-1446. (In Russ.). <https://doi.org/10.18334/et.6.4.40916>.
10. Fedonenko M. Vya. Experience of developing «smart» cities in the modern world. *Sotsialno-ekonomicheskie yavleniya i processy*. 2019. T. 14. № 2 (106). С. 61–72. [https://doi.org/10.20310/1819-8813-2019-14-2\(106\)-61-72](https://doi.org/10.20310/1819-8813-2019-14-2(106)-61-72). (In Russ.).

Информация об авторах

П. А. Петров,

кандидат экономических наук,
доцент Института информационных
технологий и анализа данных,
доцент Центра программной инженерии,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: urzairk@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0003-3490-959X>

Н. С. Хохлова,

кандидат экономических наук,
доцент кафедры государственного
управления и управления
человеческими ресурсами,
Байкальский государственный университет,
664003, г. Иркутск, ул. Ленина, 11, Россия,
e-mail: nshohlova@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-4117-8783>

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Information about the authors

Pavel A. Petrov,

Cand. Sci. (Econ.),
Associate Professor of the Institute of Information
Technology and Data Analysis,
Associate Professor of the Center
for Software Engineering,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: urzairk@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0003-3490-959X>

Natalia S. Khokhlova,

Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor
of the Department of Public Administration
and Human Resources Management,
Baikal State University
11 Lenin St., Irkutsk 664003, Russia,
e-mail: nshohlova@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-4117-8783>

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.

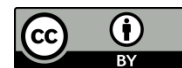
The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 03.10.2022.
Одобрена после рецензирования 24.10.2022.
Принята к публикации 25.10.2022.

Information about the article

The article was submitted 03.10.2022.
Approved after reviewing 24.10.2022.
Accepted for publication 25.10.2022.



Технологии информационного моделирования объектов дорожного строительства

Ирина Александровна Бадмаева¹, Елена Викторовна Волкова²

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

Автор, ответственный за переписку: Волкова Елена Викторовна, volkova_elena13@mail.ru

Аннотация. Цель работы – изучение проблемы использования информационной модели в дорожном строительстве. Одной из главных научно-технических и технологических задач внедрения метода информационного моделирования в область проектирования и строительства автомобильных дорог и инженерных сооружений является использование информационной модели на протяжении всех этапов жизненного цикла объекта дорожного строительства. Выявлено, что в таких моделях должны быть учтены характеристики геометрических параметров дорожных объектов, условий местности, в которой они расположены, основные данные о происходящих процессах. Рассмотрены возможности информационных моделей на разных этапах строительства, реконструкции, ремонта автомобильных дорог и инженерных сооружений для обеспечения постоянного контроля всех технических планов и внесения изменений данных. Для реализации ведения проектирования информационной модели необходимо наладить все процессы взаимодействия участников проектирования, а для этого нужна специальная библиотека знаний в виде каталога с типовыми решениями для повторного применения в последующих проектах с возможностью изменения параметров компонентов. Приведены программные продукты, применяемые для проектирования автомобильных дорог с использованием информационных моделей. Представлена 3D-модель автодорожного моста с информацией по каждому элементу, что дает возможность создать пространственную модель инженерного сооружения. Сделан вывод, что использование информационной модели объекта значительно облегчает работу не только проектировщиков, но и строителей, а также имеет множество преимуществ перед прежними формами разработки проекта дорожного строительства. Этот подход дает возможность объединить, увязать и согласовать создаваемые разными специалистами и организациями разделы проектируемого дорожного объекта.

Ключевые слова: геометрические параметры, системотехника, информационная модель объекта капитального строительства, цифровая информационная модель объекта строительства, цифровая информационная модель, трехмерная модель

Для цитирования: Бадмаева И. А., Волкова Е. В. Технологии информационного моделирования объектов дорожного строительства // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 4. С. 521–528. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-521-528>.

Original article

Information modelling of road facilities

Irina A. Badmaeva¹, Elena V. Volkova²

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

Corresponding author: Elena V. Volkova, volkova_elena13@mail.ru

Abstract. This work addressed the problems of using information modelling in road facilities. One of the main scientific and technical tasks of implementing information modelling in the field of design and construction of highways and engineering structures lies in its use throughout the entire life cycle of a road facility. It was revealed that such models should include the geometric characteristics of road facilities, local conditions in which they are located and basic data on the occurring processes. The ap-

plicability of information models at different stages of construction, reconstruction and reconditioning of roads and engineering structures were considered in order to ensure continuous monitoring of all technical programmes and data amendment. In order to implement the information modelling to design management, it is necessary to establish interaction between all the design participants by means of a special knowledge library represented by a catalog of standard solutions that can be used in subsequent projects at variable component parameters. Software products used for the design of roads using information modelling were given. A 3D model of a motorway bridge containing the data on each element was presented, which allowed a spatial model of an engineering structure to be built. It was concluded that the use of information modelling of an object greatly facilitates the work of designers and construction workers, allowing for many advantages over previous means of developing road construction projects. This approach offers a combination and coordination of parts of the designed road object developed by different specialists and organisations.

Keywords: geometric parameters, system engineering, information model of the capital construction object, digital information model of the construction object, digital information model, three-dimensional model

For citation: Badmaeva I. A., Volkova E. V. Information modelling of road facilities. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'* = *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(4):521-528. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-521-528>.

ВВЕДЕНИЕ

Информационное моделирование (ИМ), применяемое для проектирования объектов дорожного строительства, – это цифровая технология отображения информации, требуемой для проектирования, строительства, управления и содержания автомобильных дорог и инженерных сооружений.

Метод моделирования за последние годы стал широко использоваться для проектов транспортного строительства не только загородных дорог, но и объектов городской среды.

Этот способ управления информацией объединяет разные наборы данных, используемых в течение всего жизненного цикла проектируемого и строящегося инженерного объекта в единую информационную сферу, что дает возможность уменьшить и даже исключить необходимость использования бумажной документации. Такой подход называют информационным моделированием объектов строительства (BIM), в отечественной интерпретации – технология информационного моделирования (ТИМ).

МЕТОДЫ

Информационное моделирование уже давно используется в сфере строительства в основном для реализации сложных и уни-

кальных объектов. С 1 января 2022 г. вступило в силу Постановление Правительства РФ № 1431¹ об обязательном ведении и формировании информационного моделирования объектов капитального строительства (ИМ ОКС), финансируемых из государственного бюджета. Этот документ описывает состав и правила ведения ИМ ОКС.

С приходом постановления у многих сложилось неправильное представление о том, как должна выглядеть ИМ – это не трехмерная модель, созданная по уже готовым чертежам.

Трехмерная модель – это лишь инструмент для восприятия человеком данных ИМ, представленных в виде компьютерного кода.

Согласно Постановлению № 1431¹ трехмерная модель необходима, только если в задании на ИМ присутствует данное требование от заказчика.

Отсюда следует, что если такое требование отсутствует, то ведение и формирование ИМ осуществляется посредством создания файла, из которого возможно извлечь необходимые данные по конструктивным элементам ОКС.

В качестве исходных данных для разработки каждой стадии жизненного цикла исполнителю предоставляется информацион-

¹Об утверждении Правил формирования и ведения информационной модели объекта капитального строительства, состава сведений, документов и материалов, включаемых в информационную модель объекта капитального строительства и представляемых в форме электронных документов, и требований к форматам указанных электронных документов, а также о внесении изменения в пункт 6 Положения о выполнении инженерных изысканий для подготовки проектной документации, строительства, реконструкции объектов капитального строительства (с изменениями и дополнениями): постановление Правительства РФ от 15 сентября 2020 г. N 1431 // Garant.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/74644278/> (28.11.2022).

ная модель линейного объекта соответствующего этапа [1, 2]. Вся информация дается в электронном виде в соответствующем формате данных. На первоначальных стадиях создания информационной модели при разработке проектов автомобильных дорог исходными данными может быть документация в бумажном виде² [3].

Информационная модель дорожного объекта, полученная на установленном этапе жизненного цикла, является исходной и безусловной относительно чертежей (планов, продольных и поперечных профилей) и других видов инженерной документации.

Необходимо ясно понимать определение термина «информационная модель» (ИМ), особенно отличие его от термина «цифровая информационная модель» (ЦИМ). Основное их отличие состоит в следующем: ИМ – это собирательный термин для цифровых моделей, данных и документации, а ЦИМ – это, прежде всего, трехмерная модель, насыщенная информацией [1, 4, 5]. В состав ИМ входят, в том числе, ЦИМ и инженерная цифровая модель местности (ИЦММ).

Технология информационного моделирования – это, прежде всего, управление проектом, которое происходит «сверху вниз». При таком подходе на каждой стадии проектирования становится понятно, как надо моделировать отдельные процессы и разрабатывать проект сооружения в целом [6, 7].

В первую очередь информационное моделирование – это ведение организованной совместной работы над объектом строительства.

Все участники строительства должны работать в одном цифровом пространстве – среде общих данных (СОД) [2, 5]. Такой подход позволяет заказчику контролировать все стадии жизненного цикла объекта строительства.

Принцип системной инженерии лежит в основе жизненного цикла информационной модели объекта строительства.

Данный принцип обеспечивает «союз» всех дисциплин и помогает привлечь специалистов по узким областям в командную работу, формирует процесс разработки проекта, поддерживает переход от концепции к строительству и эксплуатации. Все формирование

и ведение ИМ происходит одновременно в одной такой модели. Применение принципов системной инженерии обеспечивает передачу данных и основных требований от одного этапа проектирования к другому³ [8]. ИМ строительного объекта поддерживает все стадии жизненного цикла автомобильной дороги.

Для поддержки жизненного цикла линейного объекта применение технологии информационного моделирования полагает постепенное развитие информационной модели от стадии обоснований инвестиций до проектных разработок и далее на стадии строительства и эксплуатации с дальнейшим восстановлением транспортно-экономических характеристик или выполнение работ по реконструкции автомобильной дороги [6, 9, 10]. Проектная стадия обычно начинается с подготовки материалов инженерных изысканий.

Автомобильные дороги представляют собой, прежде всего, линейные пространственные геологические объекты, состоящие из участков непосредственно дорожной конструкции, мостовых сооружений (мостов, путепроводов, эстакад, виадуков) и тоннелей, а также сложных инженерных сооружений.

Начальный уровень декомпозиции:

- прокладывание трассы линейного инженерного объекта в пространстве (совмещение плана трассы автомобильной дороги с продольным и поперечным профилями) (рис. 1);

- разбивка трассы на участках дорог, искусственных инженерных сооружений с учетом определенных ограничений, в том числе с условиями подмостового габарита и возвышения трассы дороги над поверхностью земли по принципам снегонезаносимости и водоотвода (рис. 2).

Каждая из этих отдельных моделей (объектов) несет конкретные особенности проектирования, нормативные требования, соответственно, свою дальнейшую последовательность элементов и программное обеспечение.

Для конечного создания информационной модели автомобильной дороги как совокупности дорожных, мостовых и других частных моделей (объектов) связующим началом выступает их общая направляющая линия (трасса) в пространстве³ [11, 12].

²Autodesk. Что такое BIM-технологии (Building Information Modeling) в современной интерпретации // Autodesk.ru [Электронный ресурс]. URL: <http://www.autodesk.ru/campaigns/aec-building-design-bds-new-seats/landing-page> (25.11.2022).

³Информационное моделирование объектов промышленного и гражданского строительства: проектирование, строительство, эксплуатация // Damassets.autodesk.net [Электронный ресурс]. URL: http://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/campaigns/metro/img/bim_brochure.pdf (25.11.2022).

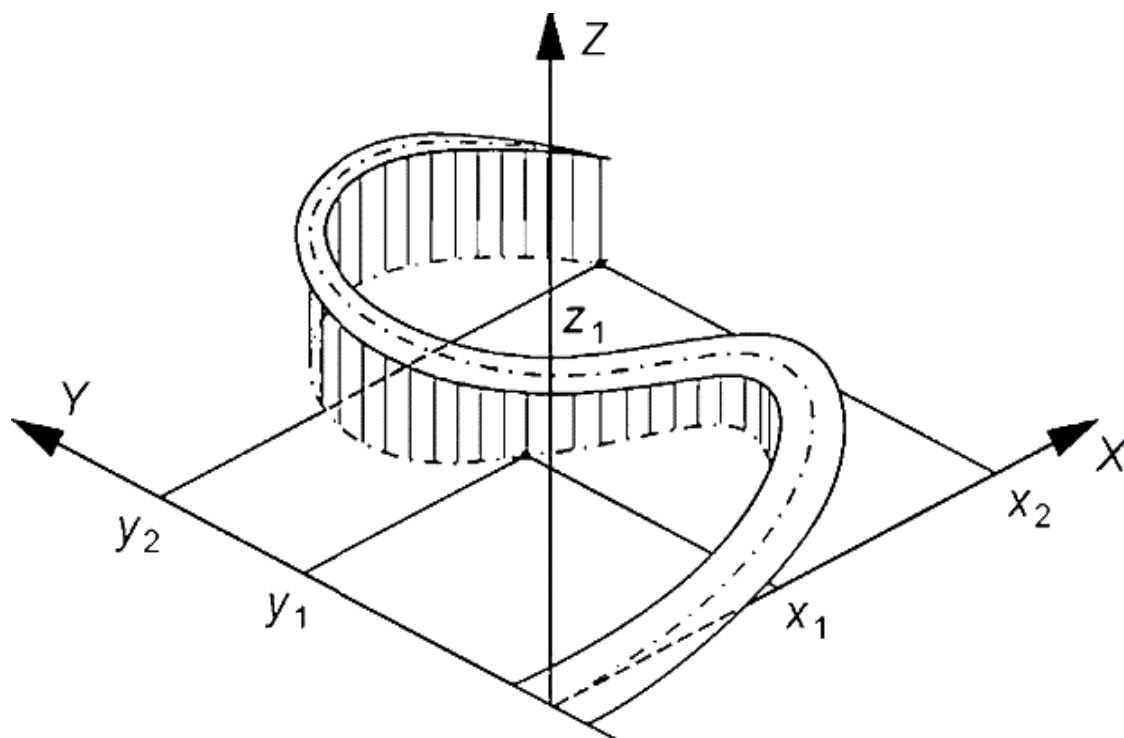


Рис. 1. Трасса автомобильной дороги в пространстве
Fig. 1. The highway route in space

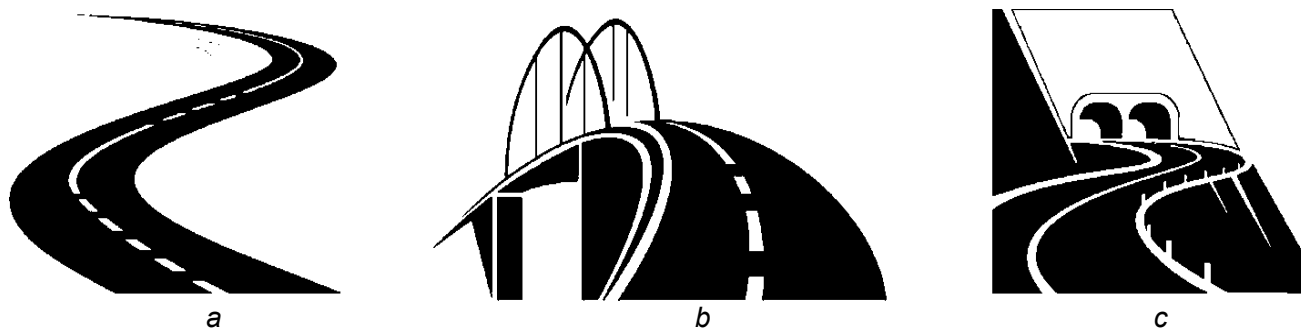


Рис. 2. Разбивка трассы: а – участок дороги; b – мостовое сооружение; с – тоннель
Fig. 2. Breakdown of the route: a – road section; b – bridge structure; c – tunnel

Если сравнивать подходы ведения строительства с использованием ТИМ с традиционным подходом, то разница будет только в инструментах, сами же принципы проектирования, строительства и эксплуатации не изменяются.

При обычном ведении строительства объекта расход времени на печать, сбор подписей и печатей на необходимые документы составляет очень большую часть времени.

В современных реалиях, с развитием компьютерных технологий, такое ведение документооборота неэффективно. С использованием ТИМ весь документооборот происходит

в цифровом пространстве среды общих данных³ [13, 14]. На рис. 3 и в таблице представлены разные уровни «зрелости» технологии информационного моделирования. Для реализации такого ведения проектирования ИМ необходимо наладить все процессы взаимодействия участников проектирования [15].

Также необходима библиотека знаний – каталог с типовыми решениями для повторного применения в последующих проектах с возможностью изменять параметры компонентов. Каждый элемент такой библиотеки должен иметь уникальное наименование для его идентификации [3, 11, 16].



Рис. 3. Модель «зрелости» технологии информационного моделирования
Fig. 3. Information Modeling Technology Maturity Model

Уровни информационного моделирования на стадиях жизненного цикла объекта строительства
Information modeling levels at the stages of the life cycle of a construction object

Жизненный цикл объектов строительства	Тип модели на каждой стадии ЖЦ
Концепт (предпроектная стадия, ОТП)	Концептуальная информационная модель
Проект (стадия проектирования, П)	Проектная информационная модель
Экспертиза	Сводная информационная модель
Строительство (стадия строительства, Р)	Строительная информационная модель
Эксплуатация (стадия эксплуатации и содержания)	Эксплуатационная информационная модель
Ремонт/Капремонт/Реконструкция (возвращение в начало цикла)	Цифровой двойник ОКС

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Информационная модель моста через р. Лена в г. Усть-Кут

Для формирования ИМ объектов строительства необходимо соответствующее ПО, имеющее надлежащий функционал. В проектировании автомобильных дорог существует множество программных продуктов для разработки проектов с использованием информационных моделей: КРЕДО-Дороги, IndorCAD/Road, Топоматик Robur-Автомобильные дороги, AutoCAD. Для проек-

тирования и расчета искусственных сооружений необходимо использовать сторонние ПО или модули основного ПО, если такие предусмотрены компанией разработчика.

Была поставлена задача – создать модель моста, в которой находилась информация по каждому его элементу, используя при этом знания и умения, приобретенные в ходе обучения. Для начала необходимо было определиться, какое ПО использовать для создания такой модели. Основная работа и вся модель моста создавалась в среде AutoCAD-2021.

В AutoCAD-2021 была создана 3D-модель на основе типовых чертежей элементов конструкции моста (рис. 4). Зная необходимые размеры, с помощью инструментов 3D-моделирования в AutoCAD можно создать пространственную модель. Такая модель не

будет являться информационной, так как для ИМ необходимо задать атрибутивные данные. В AutoCAD существует возможность создания блоков из сформированных 3D-объектов с назначением атрибутов необходимых метаданных.

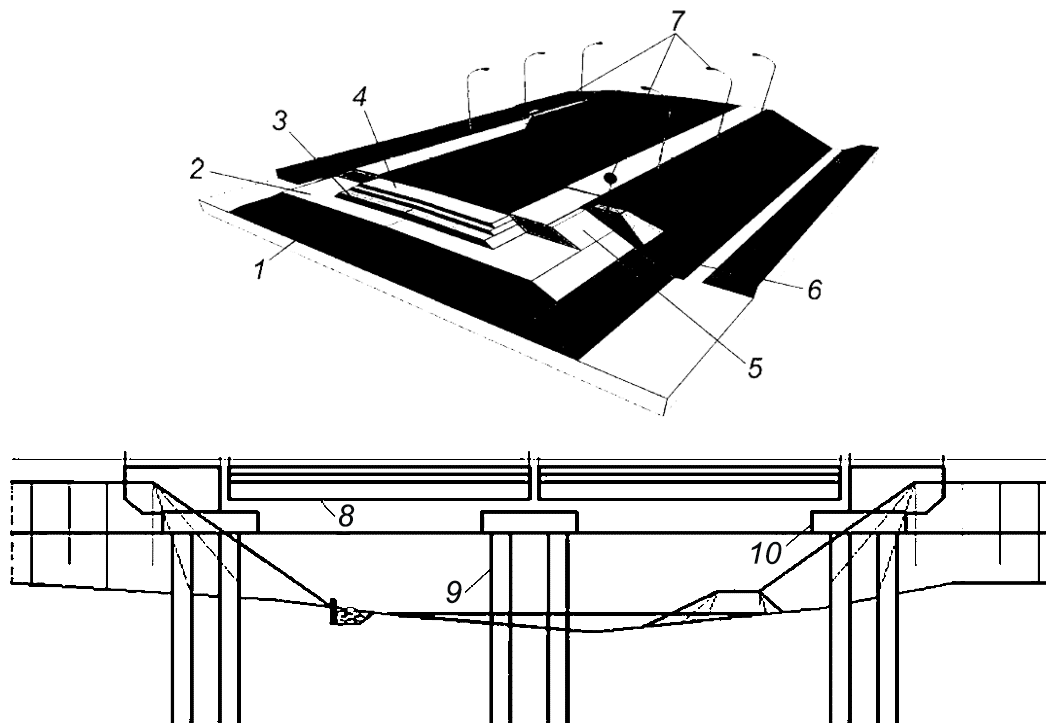


Рис. 4. 3D-модель элементов конструкции моста (IV уровень декомпозиции):
1 – земляное полотно; 2 – подстилающий слой; 3 – слои основания; 4 – слои покрытия; 5 – присыпные обочины; 6 – укрепленные откосы; 7 – элементы обустройства; 8 – пролетные строения; 9 – промежуточные опоры; 10 – береговые опоры
Fig. 4. 3D-model of structural elements of the bridge (IV level of decomposition):
1 – subgrade; 2 – underlying layer; 3 – base layers; 4 – coating layers; 5 – powder roadsides; 6 – reinforced slopes; 7 – elements of arrangement; 8 – span structures; 9 – intermediate supports; 10 – coastal supports

Если рассматривать отечественный программные решения, то по такому же принципу создания параметрического объекта можно использовать программный комплекс nanoCAD Конструкции. В среде nanoCAD уже присутствует библиотека типовых элементов конструкций, но большинство из них больше пригодна для проектирования объектов капитального строительства (промышленные и гражданские здания). Для такого случая, когда в библиотеке нет необходимой модели, реализована возможность создавать такие модели по индивидуальным чертежам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение информационной модели значительно облегчает разработку проекта строительства дорожного объекта и дает значительные преимущества перед старыми ме-

тодами и формами проектирования. Главное, что такой подход позволяет объединить и согласовать разработанные разными специалистами и организациями разделы проектируемого линейного объекта.

Инженеры-проектировщики, строители и специалисты смежных направлений могут заранее проверить жизнеспособность, конструктивное соответствие и эксплуатационные качества основных элементов разработанного проекта, а также избежать самого неприятного для проектировщиков – внутренних ошибок и нестыковок (коллизий).

Одно из главных преимуществ информационной модели объекта дорожного строительства – это его наглядность. Информационные модели помогают автоматизировать документооборот и составление смет и отчет-

тов, ускоряют процесс разработки и реализации проектов, уменьшают затраты, дают воз-

можность оптимально выбрать технологию выполнения работ и повысить качество.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Попов В. А., Бойков В. Н. Об информационных моделях дорог в технической политике Госкомпании «Автодор» // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2014. № 2 (3). С. 8–11.
2. Скворцов А. В. Трудности перехода от автоматизированного проектирования к информационному моделированию дорог // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. № 2 (5). С. 4–12. <https://doi.org/10.17273/CADGIS.2015.2.1>.
3. Гевара Рада Л. Т., Пешков В. В., Мартянов В. И., Радионова Е. А., Бужеева Ф. Г., Сайбаталова Е. В. Технологии информационного моделирования (BIM) как основа бережливого строительства // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 1. С. 70–81. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-70-81>.
4. Vanessa Q. A brief history of BIM // Archdaily.com [Электронный ресурс]. URL: <http://www.archdaily.com/302490/a-briefhistory-of-bim> (28.09.2022).
5. Гинзбург А. В. BIM-технологии на протяжении жизненного цикла строительного объекта // Информационные ресурсы России. 2016. № 5 (153). С. 28–31.
6. Eleftheriadisa S., Mumovica D., Greeningb P. Life cycle energy efficiency in building structures: A review of current developments and future outlooks based on BIM capabilities // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017. No. 67. P. 811–825. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.028>.
7. Полуэктов В. В., Азизова-Полуэктова А. Н. Информационное моделирование (BIM) для студентов института архитектуры и градостроительства // Архитектурные исследования. 2016. № 3 (7). С. 47–52.

8. Guoa S., Weib T. Cost-effective energy saving measures based on BIM technology: Case study at National Taiwan University // Energy and Buildings. 2016. No. 127. P. 433–441.
9. Морозова А. С. Autodesk о дорожном проектировании: проблемы и решения // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2014. № 2 (3). С. 63–66.
10. Покальнис В. А., Земляков Г. В. Применение BIM-технологий при проектировании в зарубежных странах // Openrepository.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://www.openrepository.ru/article?id=62327> (25.11.2022).
11. Ho S., Rajabifard A. Towards 3D-enabled urban land administration: Strategic lessons from the BIM initiative in Singapore // Land Use Policy. 2016. No. 57. P. 1–10.
12. Wang X. Analysis on complex structure stability under different bar angle with BIM technology // Perspectives in Science. 2016. No. 7. P. 317–322.
13. Ilhan B., Yaman H. Green building assessment tool (GBAT) for integrated BIM-based design decisions // Automation in Construction. 2016. No. 70. P. 26–37.
14. Meza S., Turk Z., Dolenc M. Component based engineering of a mobile BIM-based augmented reality system // Automation in Construction. 2014. No. 42. P. 1–12.
15. Lindblad H., Vass S. BIM Implementation and Organisational Change: A Case Study of a Large Swedish Public Client // Procedia Economics and Finance. 2015. No. 21. P. 178–184.
16. Скворцов А. В. Трудности перехода от автоматизированного проектирования к информационному моделированию дорог // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. № 2 (5). С. 4–12. <https://doi.org/10.17273/CADGIS.2015.2.1>.

REFERENCES

1. Popov V. A., Boikov V. N. On information models of roads in the technical policy of the State Company Avtodor. *SAPR i GIS avtomobil'nykh dorog = CAD & GIS for roads*. 2014;2:8-11. (In Russ.).
2. Skvortsov A. V. Difficulties of transition from computer-aided design to information modeling of roads. *SAPR i GIS avtomobil'nykh dorog = CAD & GIS for roads*. 2015;2:4-12. (In Russ.). <https://doi.org/10.17273/CADGIS.2015.2.1>.
3. Guevara Rada L. T., Peshkov V. V., Mart'yanov V. I., Radionova E. A., Buzheeva F. G., Saibatlova E. V. Building Information Modelling (BIM) technology as a basis for lean construction. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(1):70-81. (In Russ.).

- <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-70-81>.
4. Vanessa Q. A brief history of BIM. *Archdaily.com*. Available from: <http://www.archdaily.com/302490/a-briefhistory-of-bim> [Accessed 28th September 2022].
5. Ginsburg A. Bim-technologies in the process of life cycle of construction projects. *Informatsionnye resursy Rossii*. 2016;5:28-31. (In Russ.).
6. Eleftheriadisa S., Mumovica D., Greeningb P. Life cycle energy efficiency in building structures: A review of current developments and future outlooks based on BIM capabilities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017;67:811-825. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.028>.
7. Poluektov V. V., Azizova-Poluektova A. N. Building information modeling (BIM) for students of the institute of architecture and urban planning.

Arkhitturnye issledovaniya. 2016;3:47-52. (In Russ.).

8. Guoa S., Weib T. Cost-effective energy saving measures based on BIM technology: Case study at National Taiwan University. *Energy and Buildings*. 2016;127:433-441.

9. Morozova A. S. Autodesk on road design: problems and solutions. *SAPR i GIS avtomobil'nykh dorog = CAD & GIS for roads*. 2014;2:63-66. (In Russ.).

10. Pokalnis V. A., Zemlyakov G. V. Application of BIM technologies in design in foreign countries. Openrepository.ru. Available from: <https://www.openrepository.ru/article?id=62327> [25th November 2022] (In Russ.).

11. Ho S., Rajabifard A. Towards 3D-enabled urban land administration: Strategic lessons from the BIM initiative in Singapore. *Land Use Policy*. 2016;57:1-10.

12. Wang X. Analysis on complex structure stability under different bar angle with BIM technology. *Perspectives in Science*. 2016;7:317-322.

13. Ilhan B., Yaman H. Green building assessment tool (GBAT) for integrated BIM-based design decisions. *Automation in Construction*. 2016;70:26-37.

14. Meza S., Turk Z., Dolenc M. Component based engineering of a mobile BIM-based augmented reality system. *Automation in Construction*. 2014;42:1-12.

15. Lindblad H., Vass S. BIM Implementation and Organisational Change: A Case Study of a Large Swedish Public Client. *Procedia Economics and Finance*. 2015;21:178-184.

16. Skvortsov A. V. Difficulties of transition from computer-aided design to information modeling of roads. *SAPR i GIS avtomobil'nykh dorog = CAD & GIS for roads*. 2015;2:4-12. (In Russ.). <https://doi.org/10.17273/CADGIS.2015.2.1>.

Информация об авторах

И. А. Бадмаева,
магистрант,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: badmaeva.irina2016@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1107-9995>

Е. В. Волкова,
кандидат географических наук, доцент,
доцент кафедры
автомобильных дорог,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: volkova_elena13@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4462-913X>

Information about the authors

Irina A. Badmaeva,
Master Degree Student,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: badmaeva.irina2016@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1107-9995>

Elena V. Volkova,
Cand. Sci. (Geographic), Associate Professor,
Associate Professor
of the Department of Highways,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: volkova_elena13@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4462-913X>

Вклад авторов

Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Волкова Е. В. несет ответственность за плагиат.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article. Volkova E. V. bears the responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interests

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

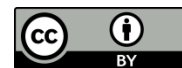
The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 28.11.2022.
Одобрена после рецензирования 05.12.2022.
Принята к публикации 06.12.2022.

Information about the article

The article was submitted 28.11.2022.
Approved after reviewing 05.12.2022.
Accepted for publication 06.12.2022.



Инвестиционный проект создания замкнутых водооборотных циклов на промышленном предприятии

Надежда Георгиевна Вурдова¹, Юрий Юрьевич Юрьев²

¹Филиал АО «ГМС Нефтемаш», г. Москва, Россия,

²Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Россия

Автор, ответственный за переписку: Вурдова Надежда Георгиевна, nadya_vurdova@mail.ru

Аннотация. Внедрение малосточных и бессточных (замкнутых) систем водного хозяйства на предприятиях – наиболее рациональный способ защиты окружающей среды от загрязнения. Очистка сточных вод промышленного предприятия является весьма дорогостоящим мероприятием. Степень очистки оборотной воды может быть намного ниже, чем это необходимо для сброса в водоем, поэтому организация замкнутых водооборотных систем способна обеспечить как экономический, так и народнохозяйственный эффект защиты окружающей среды. Казалось бы, преимущества такого подхода очевидны, тем не менее он требует серьезной технико-экономической проработки. Согласно ГОСТ Р 58785-2019 «Качество воды. Оценка стоимости жизненного цикла для эффективной работы систем и сооружений водоснабжения и водоотведения» ведется расчет стоимости затрат жизненного цикла объекта строительства. Однако на начальной (предпроектной) стадии возможно проведение расчетов на основе усредненных «обезличенных» данных (*Benchmarks*). Крупные отраслевые компании широко используют зарубежные методы оценки. В работе приведены результаты технико-экономических расчетов для обоснования инвестиций в реконструкцию водоочистных сооружений нефтеперерабатывающего предприятия различными методами.

Ключевые слова: инвестиционный проект, технико-экономическое обоснование, стоимость жизненного цикла объекта строительства, замкнутые системы водного хозяйства, водоочистные сооружения

Для цитирования: Вурдова Н. Г., Юрьев Ю. Ю. Инвестиционный проект создания замкнутых водооборотных циклов на промышленном предприятии // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 4. С. 529–538. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-529-538>.

Original article

Investment project for implementing a closed water circulation system at an industrial company

Nadejda G. Vurdova¹, Yuriy Y. Yuriev²

¹Branch of OJSC "HMS Neftemash", Moscow, Russia,

²Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

Corresponding author: Nadejda G. Vurdova, nadya_vurdova@mail.ru

Abstract. Due to the considerable costs involved in industrial wastewater treatment, the introduction of open (low-discharge) and closed water circulation systems is the most sensible way to prevent environmental pollution at industrial companies. Since the level of circulating water treatment can be much lower than that required for discharge into a water body, the installation of closed water circulation systems can achieve both the economic and total effects of environmental protection. Despite the seemingly obvious advantages of this approach, it requires a serious feasibility analysis. The life cycle costs of a construction project can be estimated according to GOST R 58785-2019 *Water Quality. Life Cycle Cost Estimation for Efficient Operation of Water Supply and Sanitation Systems and Facilities*.

However, at the initial (pre-project) stage, the analysis can be based on benchmarks. Large industrial companies make extensive use of foreign estimation methods. The paper presents the results of a feasibility analysis obtained using different methods to justify investments in the reconstruction of water treatment facilities at an oil refinery.

Keywords: investment project, feasibility study, the cost of the life cycle of the construction object, closed water management systems, water treatment facilities

For citation: Vurdova N. G., Yuriev Yu. Yu. Investment project for implementing a closed water circulation system at an industrial company. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(4):529-538. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-529-538>.

ВВЕДЕНИЕ

Опираясь на основные положения наиболее известной международной методики оценки инвестиционных проектов [1], целостный и доступный для широкого понимания механизм, изложенный в «Основных положениях...»¹, подразумевает, что: «...для принятия решения о долгосрочном вложении капитала необходимо располагать информацией, подтверждающей два основных положения:

1) вложенные средства должны быть полностью возмещены;

2) полученная прибыль должна компенсировать временный отказ от использования средств, а также риск, возникающий в силу неопределенности конечного результата».

Следовательно, для поддержки принятия решения о вложениях необходимо максимально полно собрать информацию для разработки развернутого бизнес-плана: провести технико-экономическое обоснование и маркетинговые исследования, осуществить выбор поставщиков, а также оценить возможные последствия от реализации или «незапуска» проекта.

Повышенное внимание со стороны государства и общественности к экологической ситуации в стране заставляет промышленные предприятия активно заниматься внедрением малоотходных систем водоподготовки и водоотведения, основанных на современных технологиях. При всей очевидности потребности, предприятия, однако, не спешат вкладываться в дорогостоящие проекты по очистке сточных вод. Причин здесь несколько.

Во-первых, деятельность любого предприятия нацелена на максимизацию прибыли, при этом часто игнорируются социальные и экологические аспекты. Во-вторых, при наличии существующих водоочистных сооружений частично решаются проблемы с природоохранными органами. В-третьих, традиционный подход к экологическому сопровождению при проектировании, строительстве или реконструкции объектов строительства сводится к проведению инженерно-экологических изысканий, разработке «Перечня мероприятий по охране окружающей среды», расчета платы за негативное воздействие и не учитывает влияние реализации экологических рисков. Эти причины являются основными сдерживающими факторами в принятии решения об инвестировании в новое строительство или реконструкцию водоочистных сооружений промышленного предприятия. Тем не менее, как показал опыт отдельных компаний, игнорирование возможных последствий от реализовавшихся экологических рисков – процесс существенно более затратный². По нашему мнению, экологические риски должны быть обязательно учтены в инвестиционных проектах³ [2, 3].

В ходе работы проведено исследование различных методик⁴ [4] и выполнены технико-экономические расчеты для обоснования инвестиций в реконструкцию водоочистных сооружений нефтеперерабатывающего предприятия (НПЗ). Сточные воды НПЗ имеют сложный физико-химический состав, включающий в себя десятки опасных для окружающей среды и жизнедеятельности человека

¹Коммерческая оценка инвестиционных проектов. Основные положения методики. М.-СПб.: Альт-Инвест, 2015. 100 с.

²ЧП в Норильске. Как «рядовая» авария стала экологической катастрофой // Портал для недропользователей – dprom.online. URL: <https://dprom.online/oilngas/chp-v-norilsk-kak-ryadovaya-avariya-stala-ekologicheskoy-katastrofoj/> (09.06.2022).

³Донченко В. К., Питулько В. М., Расторгуев В. В., [и др.] Экологическая экспертиза: учеб. пособие / Под ред. В. М. Питулько. М.: ИД «Академия», 2004. 480 с.

⁴Government Construction: Cost Benchmarking Principles and Expectations'. Cabinet Office, 2019. Best Practice in Benchmarking. IPA, 2020.

компонентов, поэтому требуется их многоступенчатая очистка. Очищенные до требуемых нормативов сточные воды, как правило, сбрасываются в близлежащие водоемы. Современные предприятия, опирающиеся на политику устойчивого развития, организуют малосточные и замкнутые водооборотные системы, применяя так называемые технологии ZLD (*Zero Liquid Discharge*)⁵, что, несомненно, является перспективным направлением модернизации производства.

МЕТОДЫ ОБОСНОВАНИЯ ИНВЕСТИЦИЙ

Методы определения стоимости инвестиционного проекта на предпроектной стадии, применяемые в международной практике, достаточно разнообразны [5–7]. Например, согласно проведенному авторами исследованию [8] отмечено, что системы ценообразования в строительстве США, Германии, Великобритании, Франции являются достаточно эффективными, сложными и многоуровневыми, в которых широко используются базы данных реализованных проектов, опирающихся на лучшие практики – *Benchmarks*. При этом применяются как базисно-индексный, так и ресурсный методы расчетов; определяются показатели для оценки стоимости строительства на различных стадиях реализации инвестиционных проектов, начиная от инвестиционного замысла и обоснования инвестиций и заканчивая собственно взаимодействием между заказчиком и подрядчиком в процессе строительства.

Наиболее известными иностранными профессиональными ассоциациями в сфере ценообразования в строительстве, которые задают «правила игры» и условия обмена знаниями и лучшими практиками являются:

- *AACE – Association for the Advancement of Cost Engineering*;
- *ANSI – American National Standard Institute*;
- *ACostE – Association of Cost Engineers (UK)*;
- *NFP – Norwegian Project Management Association*.

В настоящее время наиболее распространенным в РФ международным стандартом классификации смет является AACE (Международная Ассоциация развития стоимостного

инжиниринга).

На выбор того или иного метода влияют несколько ключевых факторов [9]: специфика инвестиционного проекта, наличие реализованных проектов-аналогов, выбранная контрактная стратегия, система ценообразования и др. Кроме того, отличается подход к оценке инвестиций при государственном и частном финансировании. Так укрупненные нормативы цены строительства разработаны только на различные виды объектов капитального строительства непроизводственного назначения и инженерную инфраструктуру, финансирование которых осуществляется государством. Напротив, в промышленном строительстве с участием частного капитала крупных и средних отраслевых компаний внедряются зарубежные методы оценки.

Как правило, расчеты на предпроектной стадии применяются для обоснования инвестиций или технико-экономического обоснования проекта [10].

Отличительной чертой этой стадии является наличие риска, связанного с высокой неопределенностью технологических и стоимостных параметров, выражающийся в расхождении от 30 до 100%. Применительно к предприятиям нефтеперерабатывающего сектора оценка капитальных вложений, основанная на международном стандарте классификации смет AACE⁶, представлена в табл. 1.

Для примера приведем отдельные данные, используемые в дальнейшем для обоснования инвестиций в реконструкцию канализационных очистных сооружений (КОС) нефтеперерабатывающего завода, целью которой являлось внедрение бессточной водооборотной системы.

В соответствии с техническим заданием проведена оценка стоимости реконструкции по 5-му классу точности по объектам-аналогам, а также экспертная оценка на основе технико-коммерческих предложений потенциальных разработчиков и поставщиков оборудования, инжиниринговых компаний, реализовывающих подобные проекты.

Капитальные затраты на реконструкцию КОС производительностью 35 тыс. м³/сут могут составить до 3 млрд руб. (в ценах 2021 г.), при этом годовые эксплуатационные затраты не превышают 350 млн руб. Более точные

⁵*Zero Liquid Discharge* – это процесс очистки сточных вод, у которого нулевое или почти нулевое воздействие на окружающую среду. Путем комбинации нескольких процессов из сточных вод извлекается соль, которую можно вновь использовать, и очищенная вода, которую можно снова использовать в технологии.

⁶AACE International Recommended Practice. No. 18R-97 Cost estimate classification system – As applied in engineering, procurement, and construction for the process industries TCM Framework: 7.3. Cost Estimating and Budgeting, 2005 // AACE International [Электронный ресурс]. URL: https://web.aacei.org/docs/default-source/toc/toc_18r-97.pdf?sfvrsn=4 (12.09.2022).

расчеты выполняются при составлении смет 4-го класса.

На этапе разработки предпроектных решений или в международной терминологии pre-FEED-проектировании устанавливают предпосылки для плановых или непредвиденных затрат, используют практику «контрольных точек» (vex). После каждой подготовительной фазы проводится анализ и принимается решение продолжать проект или закрыть его, а также выделяется финансирование для следующего этапа. На этой стадии подготавливают сметы 4-го класса, при этом решаются следующие задачи:

1. Определение структуры и способа определения стоимости проекта.

2. Сбор информации о проектах-аналогах.

3. Сопоставление и приведение аналогов технологических установок к требуемым параметрам.

4. Определение стоимости инвестиционного проекта по приведенным проектам-аналогам методом моделирования.

Структура затрат для формирования стоимости инвестиционного проекта с разработкой смет 4-го класса точности на объектах по реконструкции КОС НПЗ представлена в табл. 2.

Таблица 1. Оценка капитальных вложений по международным стандартам AACE

Table 1. Estimate of capital investments according to international AASE standards

Класс оценки	Вид работ	Методы оценки	Диапазон отклонений, Н – нижний, В – верхний	Объем выполнения, %	Техническая документация
5*	Отбор проектов или анализ осуществимости. Определение стратегии	На основе производственной мощности / построение параметрической модели / экспертная оценка или оценка по проекту - аналогу	Н: от -20% до -50 % В: от +30% до +100%	0–2%	Техническая документация не разрабатывается. Расчеты производственной мощности основной технологической установки
4	Анализ стратегии. Разработка ТЭО. Разработка бизнес-плана	Комбинированные методы, моделирование / факторная оценка на основе данных об оборудовании/ построение параметрической модели	Н: от -15% до -30 % В: от +20% до +50%	1–15%	Утверждена производительность установки; имеется <i>pre-FEED</i> проект
3	Разработка проектной документации. Принятие финального инвестиционного решения	Используются единичные расценки на укрупненные виды работ / определяется стоимость оборудования длительного цикла изготовления	Н: от -10% до -20 % В: от +10% до +30%	10–60%	Имеется Проектная документация, либо <i>FEED</i> -проект; получены заключения экспертиз
2**	Проведение тендерных процедур	Используются единичные расценки по видам работ с учетом установленных физических объемов/ утверждается начальная максимальная стоимость оборудования	Н: от -5% до -15% В: от +5% до +20%	30–75%	Утвержден генеральный план площадки строительства, имеются заказные спецификации оборудования, схема P&ID, план производства работ

*используется для самых различных стадий оценки; **используется для целей контроля на стадии реализации проекта.

Таблица 2. Структура затрат и основа для формирования стоимости инвестиционного проекта
Table 2. Cost structure and the basis for the formation of the cost of an investment project

Структура затрат	Доля в общих затратах	Способ расчета / основа формирования стоимости
Затраты на предпроектной стадии	2–3%	Фактические данные по заключенным договорам (ТЭО), прогнозные данные по будущим договорам (прогноз трудозатрат и среднерыночных расценок на разработку бизнес-плана и документации <i>preFEED</i> – предпроектной)
Затраты на строительство КОС	65–85%	По проектам-аналогам с использованием фактической мощности
Затраты на строительство объектов общезаводского хозяйства (к технологической установке)	8–15%	По проектам-аналогам с использованием фактической мощности
Управление проектом	2–4%	На основе разработанного плана мобилизации или путем моделирования
Резерв	5–15%	% от общей предполагаемой стоимости проекта: определяется экспертно, зависит от сложности и степени проработки <i>pre-FEED</i> документации

При сборе информации об объектах-аналогах особое внимание следует обратить на следующие вопросы:

- изучение территории будущего строительства или существующего объекта, климатических условий;
- технологические и массогабаритные параметры основного и вспомогательного оборудования;
- в части инженерно-технического обеспечения – анализ требований к сетям газо-, тепло-, электро-, водоснабжения и водоотведения, сетям телефонизации, радиофикации, телевидения;
- предполагаемые трудозатраты, физические объемы;
- стоимость реализованных проектов-аналогов, их отдельных этапов и компонентов.

На этапе подбора и сопоставления аналогов технологического оборудования к требуемым параметрам выполняется анализ сходства выбранных объектов-аналогов с рассматриваемым объектом (основные технические характеристики конструктивных, объемно-планировочных, технологических решений, состав технологических установок, размеры площадок и особенности компоновок).

При этом определение стоимости объектов по выбранным аналогам может осуществляться:

- по фактору мощности (*Capacity-factored Modeling*) при наличии полных данных о стои-

мости объекта-аналога (*Capex*);

- по методу приведенных объемов (*Quantities Rated Modeling*) при наличии данных о физических объемах, предполагаемых трудозатратах и пр.

Окончательное решение инвестора о вложении средств в реализацию проекта принимается после этапа разработки проектной документации или *front-end engineering and design*. Однако в отличие от стандартной российской проектной документации содержание *FEED* документации гораздо шире. При этом соблюдаются такие важные условия, как:

- все показатели рассчитаны по 3-му классу точности исходя из методологии *AACE*;
- расчеты проведены по принципу «минимального технического решения», по которому минимизируются необоснованные траты при переговорах с подрядчиками;
- проработаны все риски (политические, технические, организационные, экологические риски) и методы по их локализации;
- осуществлена независимая экспертиза предварительных решений.

В последнее время важное значение принимают методики оценки полной стоимости владения закупаемой продукцией⁷.

Применительно к объектам общезаводского хозяйства промышленных предприятий, составной частью которых являются водоочистные сооружения, расхождение между предложениями поставщиков с низкой закупочной

⁷Методические материалы по применению оценки стоимости жизненного цикла продукции при подготовке к закупке ранее не закупавшейся, в том числе инновационной, высокотехнологичной продукции. 01.02.2018 // Garant.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71766688/> (12.11.2022).

стоимостью оборудования и материалов (CAPEX) и поставщиков продукции с более высокой закупочной стоимостью, но более низкой совокупной стоимостью владения (OPEX) может возрастать в несколько раз. Поэтому важно вести сопоставление и анализ стоимости на всех этапах жизненного цикла возводимого или реконструируемого водоочистного сооружения [11, 12, 14].

В дальнейших расчетах были применены именно такие подходы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Основной целью реконструкции КОС должно быть сокращение объемов сбрасываемых сточных вод завода и уменьшение забора сырой воды из реки за счет организации подпитки

очищенными стоками современных блоков оборотного водоснабжения. Достижение поставленной цели возможно за счет последовательной поэтапной реализации проекта (табл. 3).

Выполнен расчет стоимости жизненного цикла (СЖЦ) реконструкции канализационных очистных сооружений НПЗ согласно методике, изложенной в ГОСТ⁸.

Полученные по вариантам данные сведены в табл. 4.

Максимальный учет показателей, определяющих затраты на стадиях строительства и последующей эксплуатации, позволил Заказчику получить полную информацию по каждому из этапов.

Таблица 3. Перечень основных мероприятий по модернизации очистных сооружений и достигаемый результат

Table 3. The list of the main measures for the modernization of WWTP and the achieved result

Этап	Мероприятие	Результат реализации
1	Провести реконструкцию существующих КОС завода: – восстановление бетона; – перекладка сетей; – частичная замена оборудования	Улучшение степени очистки по отдельным показателям, таким как нефтепродукты, взвешенные вещества, сульфиды и др. Разработанные мероприятия позволяют возвращать часть очищенных стоков на отдельные блоки оборотного водоснабжения и уменьшить штрафные санкции от городского Водоканала за превышения
2	Построить новые сооружения – блоки биологической очистки	Мероприятия позволяют возвращать очищенные стоки на отдельные блоки оборотного водоснабжения, прекратить сброс стоков на городские очистные сооружения, возвращать часть стоков в качестве технической воды для предприятий-абонентов. Избыток можно направлять на сброс в реку
3	Построить новые сооружения – блоки доочистки	Мероприятия позволяют возвращать все очищенные стоки на блоки оборотного водоснабжения, прекратить сброс стоков на городские очистные сооружения, прекратить забор речной воды из реки на технические нужды, возвращать всю воду в качестве технической воды для предприятий-абонентов и ТЭЦ

Технико-экономические расчеты вариантов реконструкции очистных сооружений

Для управленческого планирования и анализа производственных возможностей предприятия чаще используется другие методики, например, [13]. Она основана на определении технико-экономических показателей деятельности предприятия, использующихся для оценки трудовых и технических возможностей, эффективности использования производственных фондов и трудовых ресурсов. Полученные

данные являются основой для разработки производственно-финансового плана предприятия, а также установления нормативов на будущие периоды в рамках планирования на предприятии.

Определены затраты на модернизацию канализационных очистных сооружений с поэтапным внедрением новейших технологий, позволяющих организовать замкнутые оборотные циклы на предприятии. Результаты расчета сведены в табл. 5.

⁸ГОСТ Р 58785-2019. Качество воды. Оценка стоимости жизненного цикла для эффективной работы систем и сооружений водоснабжения и водоотведения // Kodeks.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200170681> (12.09.2022).

Таблица 4. Результат расчета на основании предлагаемых технических решений по модернизации КОС [12]

Table 4. The result of the calculation based on the proposed technical solutions for the modernization of WWTP [12]

Составляющие элементы СЖЦ по вариантам реконструкции канализационных очистных сооружений (расчетный период – 25 лет, затраты в млн руб.)		Этап 1	Этап 2	Этап 3
C^{3+C}_{ic}	(З – земля), (С – сети)	Не учитывается		
C^{PR}_{ic}	Проектирование	6	45	45
C_{ic}	Капитальная стоимость с ценой оборудования	325	1500	2150
C_{in}	Строительно-монтажные и пусконаладочные работы	58	450	665
КАПИТ	Сумма капитальных затрат	399	1995	2860
C_e	Электроэнергия	600	675	1300
C_o	Оплата труда обслуживающего персонала	Не учитывается		
C_m	Ремонт, сервисное обслуживание, реагенты	1650	7775	11150
C_s	Непредвиденные простои и недополученная продукция	1550	50	–
C_{env}	Охрана окружающей среды и предотвращение ущерба	50	15	–
C_d	Вывод объекта водоснабжения и водоотведения из эксплуатации	Не учитывается		
ЭКСПЛ	Сумма эксплуатационных затрат	3850	8515	12450
СЖЦ	Итого	4249	10510	15310

Таблица 5. Техничко-экономические расчеты вариантов реконструкции очистных сооружений

Table 5. Technical and economic calculations of options for the reconstruction of WWTP

Наименование затрат	Ед. изм.	Затраты на модернизацию			Примечание
		I этап	II этап	III этап	
Производительность сооружения	м³/сут	30 029,00	30 029,00	30 029,00	–
–	тыс. м³/год	10 960,59	10 960,59	10 960,59	–
Капитальные затраты:	–	–	–	–	–
– стоимость нового оборудования	тыс. руб.	300 000,00	1500 000,00	2150 000,00	–
– на монтаж оборудования (10%)	тыс. руб.	30 000,00	150 000,00	215 000,00	–
Итого по п.п. 4,5	тыс. руб.	330 000,00	1650 000,00	2365 000,00	–
Демонтаж оборудования от п.6 (1%)	тыс. руб.	3000,00	15 000,00	21 500,00	–
Неучтенные затраты, 20% от п.6	тыс. руб.	66 000,00	330 000,00	473 000,00	–
Итого: Инвестиционные издержки	тыс. руб.	399 000,00	1995 000,00	2859 500,00	–
Эксплуатационные затраты, в год:	–	–	–	–	–
– амортизация оборудования (4% от п. 9)	тыс. руб.	15 960,00	79 800,00	114 380,00	Нормативный срок службы сооружений – 25 лет. Норма амортизации: $N_a = 100/25 = 4\%$
– содержание оборудования (1% от п. 9)	тыс. руб.	3990,00	19 950,00	28 595,00	–
– текущий ремонт оборудования (3% от п. 9)	тыс. руб.	11 970,00	59 850,00	85 785,00	–
– капитальный ремонт оборудования (5% от п. 9)	тыс. руб.	19 950,00	99 750,00	142 975,00	–
Итого:	тыс. руб.	51 870,00	259 350,00	371 735,00	–

Окончание табл. 5

Наименование затрат	Ед. изм.	Затраты на модернизацию			Примечание
		I этап	II этап	III этап	
Неучтенные затраты (20% от п.15)	тыс. руб.	10 374,00	51 870,00	74 347,00	–
Всего с неучтенными	тыс. руб.	62 244,00	311 220,00	446 082,00	–
Изменение эксплуатационных затрат после модернизации:	–	–	–	–	"+" перерасход, "-" экономия
– эл. энергия на технологические цели	тыс. руб.	-268,00	12612,00	-266,00	–
– содержание, эксплуатация и ремонт оборудования нового оборудования	тыс. руб.	-62244,00	311220,00	446082,00	–
– содержание, эксплуатация и ремонт оборудования старого оборудования	тыс. руб.	90000,00	-90000,00	-90000,00	–
Итого изменение годовых эксплуатационных затрат, в год	тыс. руб.	27 488,00	233832,00	355816,00	–
Платежи за сброс на городские очистные сооружения:	тыс. руб.	–	–	–	–
– штрафы за превышение НДС	тыс. руб.	5000,00	-5000,00	-5000,00	–
– плата за сброс	тыс. руб.	800 000,00	800 000,00	-800 000,00	–
Основные технико-экономические показатели:	тыс. руб.	–	–	–	–
– прирост чистой прибыли	тыс. руб.	24 690,88	173 912,32	874 620,16	24% – налоги
– экономический эффект от реализации проекта по этапам реконструкции	тыс. руб.	-35 159,12	-125 337,68	445 695,16	Учтена депозитная ставка – 15%
Срок окупаемости	год	16	11	3	–

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлены результаты расчетов для технико-экономического обоснования реконструкции КОС НПЗ. Проведение предварительного квалификационного опроса компаний, специализирующихся на поставках технологий и оборудования для очистки сточных вод НПЗ, позволило получить оценку стоимости капитальных вложений, удовлетворяющую требованиям 5-го класса в соответствии с методикой ААСЕ. Для получения более точных результатов была проведена оценка в соответствии с методикой по ГОСТ Р 58785-2019, согласно которой определены затраты полного жизненного цикла объекта строительства.

После оценки на предварительной стадии инвестиционных издержек, заказчиком принято решение о поэтапном проведении дальнейших работ. В соответствии с заданием заказчика были проведены технико-экономические расчеты трех вариантов реконструкции очистных сооружений НПЗ, позволившие разработать программу обоснования инвестиций

с поэтапным строительством.

На первом этапе проводится реконструкция существующих КОС. Результатом реализации запроектированных решений должно стать улучшение степени очистки по отдельным показателям, таким, как нефтепродукты, взвешенные вещества, сульфиды и др. Разработанные мероприятия позволят возвращать часть очищенных стоков на отдельные блоки оборотного водоснабжения и уменьшить штрафные санкции от городского Водоканала за превышения нормативно-допустимого сброса загрязняющих веществ. Инвестиционные издержки составят 399,0 млн руб. Срок окупаемости – 16 лет.

На втором этапе строятся новые блоки биологической очистки. Мероприятия позволят возвращать очищенные стоки на отдельные блоки оборотного водоснабжения, прекратить сброс стоков на городские КОС, возвращать часть стоков в качестве технической воды для предприятий-абонентов. Избыток можно направлять на сброс в реку. Инвестиционные издержки составят 1995,0 млн руб.

Срок окупаемости – 11 лет.

На третьем этапе строятся новые блоки дополнительной доочистки. Мероприятия позволяют возвращать все очищенные стоки на блоки оборотного водоснабжения, прекратить сброс стоков на городские КОС, прекратить забор речной воды на технические нужды, возвращать всю воду в качестве технической воды для предприятий-абонентов и ТЭЦ. Инвестиционные издержки составят 2859,5 млн руб. Срок окупаемости – 3 года. Для рассматриваемого предприятия приверженность стандартам устойчивого развития является одним из приоритетных. Для повышения своей устойчивости, а также обеспече-

ния промышленной и экологической безопасности, предприятие ввело систему риск-менеджмента. Поэтому учет, анализ различных рисков и разработка противорисковых мероприятий проводятся на системной основе. Были рассмотрены варианты количественной оценки вероятности возникновения негативных процессов и явлений, снижающих качество окружающей среды, так и количественная оценка возможных ущербов от их проявления в случае отказа от принятия решения о реконструкции КОС.

Результаты проведенных расчетов и исследований были использованы в инвестиционной программе предприятия на ближайшие 5 лет.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Behrens P., Hawranek M. Manual for the preparation of industrial feasibility studies. Newly revised and expanded edition. Vienna: United Nations Industrial Development Organization, 1991. 387 p.
2. Скворцов О. В. Минимальная цена контракта и наиболее выгодное предложение для заказчика – понятия совершенно разные // Архитектура и строительство. 2011. № 10 (97). С. 42–44.
3. Новоселов А. Л., Лобковский В. А. Эколого-экономический анализ замещения видов топлива при производстве тепловой и электрической энергии // Проблемы региональной экологии. 2014. № 3. С. 71–76.
4. Тетеркин В. Оценка затрат на ранних этапах крупного проекта. Пример ПАО «Газпромнефть» // Вестник ПМСОФТ. 2017. № 13. С. 13–16.
5. Cokins G. Activity Based Cost Management: An Executive Guide. New York: John Wiley & Sons, 2001. 253 p.
6. Humphreys K. K. Project and cost Engineer's Handbook. 4th ed, New York: Marcel Dekker, Inc., 2005. 325 p.
7. Pinto J. K., Venkataraman R. R. Cost and value management in projects. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc. 2011. 304 p.
8. Ржевская Т. В., Петрова П. А. Методы определения стоимости строительства на предпроектной стадии: международный опыт // Геоинфо [Электронный ресурс]. URL: <https://geoinfo.ru/product/rzhevskaya-tatyana-vasilevna/metody-opredeleniya-stoimosti-stroitelstva-na-predproektnoj-stadii>

- dii-mezhdunarodnyj-opyt-43192.shtml (12.09.2022).
9. Дубовицкая Е. Сходства и различия российского и зарубежного подходов к оценке стоимости строительства нефтегазовых объектов // Вестник ПМСОФТ. 2018. № 14. С. 24–27.
10. Мухаррамова Э. Р. Стоимостной инжиниринг в строительстве // Российское предпринимательство. 2016. Т. 17. № 10. С. 1179–1196. <http://doi.org/10.18334/rp.17.10.35283>.
11. Гогина Е. С., Гуринович А. Д. Применение методики LCC для оценки эффективности инвестиционных проектов сооружений очистки сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2016. № 9. С. 36–41.
12. Баженов В. И., Пупырев Е. И., Самбургский Г. А., Березин С. Е. Разработка методики расчета стоимости жизненного цикла оборудования, систем и сооружений для водоснабжения и водоотведения // Водоснабжение и санитарная техника. 2018. № 2. С. 10–19.
13. Нестеров А. К. Основные технико-экономические показатели предприятия // Энциклопедия Нестеровых [Электронный ресурс]. URL: <https://odiplom.ru/lab/osnovnye-tehniko-ekonomicheskie-pokazateli-predpriyatiya.html> (04.05.2022).
14. Paul R., Kenway S., Mukheibir P. How scale and technology influence the energy intensity of water recycling systems – An analytical review // Journal of Cleaner Production. 2019. Vol. 215. P. 1457–1480. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.148>.

REFERENCES

1. Behrens P., Hawranek M. Manual for the preparation of industrial feasibility studies. Newly revised and expanded edition. Vienna: United Nations Industrial Development Organization; 1991. 387 p.
2. Skvortsov O. V. The minimum contract price and the most favorable offer for the customer are completely different concepts. *Arkhitectura i stroitel'stvo*. 2011;10:42-44. (In Russ.).

3. Novoselov A. L., Lobkovsky V. A. The ecological and economic analysis of replacement of fuels in the production of thermal and electric energy. *Problemy regional'noi ekologii = Regional Environmental Issues*. 2014;3:71-76. (In Russ.).
4. Teterkin V. Cost estimation in the early stages of a major project. Example of JSC Gazpromneft. *Vestnik PMSOFT*. 2017;13:13-16. (In Russ.).

5. Cokins G. Activity based cost management: an executive guide. New York: John Wiley & Sons; 2001. 253 p.
6. Humphreys K. K. Project and cost Engineer's Handbook. 4th ed, New York: Marcel Dekker Inc.; 2005. 325 p.
7. Pinto J. K., Venkataraman R. R. Cost and value management in projects. New Jersey: John Wiley & Sons; 2011. 304 p.
8. Rzhetskaya T. V., Petrova P. A. Methods of determining the cost of construction at the pre-project stage: international experience. *Geoinfo*. Available from: <https://geoinfo.ru/product/rzhetskaya-tatyana-vasilevna/metody-opredeleniya-stoimosti-stroitelstva-na-predproektnoj-stadii-mezhdunarodnyj-opyt-43192.shtml> [12th September 2022].
9. Dubovitskaya E. Similarities and differences between Russian and foreign approaches to estimating the cost of construction of oil and gas facilities. *Vestnik PMSOFT*. 2018;14:24-27. (In Russ.).
10. Muharramova E. R. Cost engineering in construction. *Rossiiskoe predprinimatel'stvo = Russian journal of entrepreneurship*. 2016;17(10):1179-1196.

Информация об авторах

Н. Г. Вурдова,

кандидат технических наук, EMBA, доцент,
начальник Управления проектирования
объектов водоподготовки и водоочистки,
филиал АО «ГМС Нефтемаш»,
105203, г. Москва, ул. Первомайская, 126, Россия,
e-mail: nadya_vurdova@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9572-7733>

Ю. Ю. Юрьев,

кандидат технических наук, доцент кафедры
водоснабжения и водоотведения,
Волгоградский государственный технический
университет,
400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, Россия,
e-mail: yuriy-yuriev@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3683-3998>

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 14.11.2022.
Одобрена после рецензирования 28.11.2022.
Принята к публикации 29.11.2022.

(In Russ.). <https://doi.org/10.18334/rp.17.10.35283>.

11. Gogina E. S., Gurinovich A. D. The use of LCC method in evaluating the efficiency of investment projects of wastewater treatment facilities. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water Supply and Sanitary Technique*. 2016;9:36-41. (In Russ.).
12. Bazhenov V. I., Pupyrev E. I., Samburskii G. A., Berezin S. E. Development of the method of life cycle costing of the equipment, systems and facilities for water supply and wastewater disposal. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water Supply and Sanitary Technique*. 2018;2:10-19. (In Russ.).
13. Nasterov A. K. The main technical and economic indicators of the enterprise. *Encyclopedia of the Nesterovs*. Available from: <https://odiplom.ru/lab/osnovnye-tehniko-ekonomicheskie-pokazateli-predpriyatiya.html> [12th November 2022]. (In Russ.).
14. Paul R., Kenway S. Mukheibir P. How scale and technology influence the energy intensity of water recycling systems – An analytical review. *Journal of Cleaner Production*. 2019;215:1457-1480. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.148>.

Information about authors

Nadejda G. Vurdova,

Cand. Sci. (Eng.), EMBA, Associate Professor,
Head of the Design Department
of Water Treatment and Water Treatment
Facilities, Branch of OJSC "HMS Neftemash",
Pervomaiskaya st., 126, Moscow, 105203, Russia,
e-mail: nadya_vurdova@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9572-7733>

Yuriy Y. Yuriev,

Cand. Sci. (Eng.),
Associate Professor of the Department
of Water Supply and Sanitation,
Volgograd State Technical University,
1 Akademicheskaya St., Volgograd 400074, Russia,
e-mail: yuriy-yuriev@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3683-3998>

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

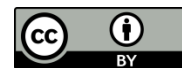
Conflict interests

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 14.11.2022.
Approved after reviewing 28.11.2022.
Accepted for publication 29.11.2022.

**Влияние антропогенных факторов на качество байкальской воды****Наталья Леонидовна Дорофеева¹, Алиса Викторовна Бабик²**^{1,2}Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, РоссияАвтор, ответственный за переписку: Дорофеева Наталья Леонидовна, dorofeeva@istu.edu

Аннотация. Цель – изучить влияние антропогенных факторов на состояние воды оз. Байкал. Поскольку в оз. Байкал содержится 19% от общих запасов пресной воды, необходимо тщательно контролировать состояние водных ресурсов. Использование данных о состоянии воды вблизи пос. Листвянка позволяет отследить изменение содержания в воде аммиака, сульфатов, нитратов, железа, фосфатов и иных взвешенных веществ. Пробы воды брали для сравнительной характеристики проверяемых показателей с предыдущими данными. Изучение качества проб основано на методиках, включающих применение фотометрии с использованием спектрофотометров, работу со специальными фильтрами «синяя лента» и работу с эксикаторами. Результаты, полученные в ходе лабораторного анализа, позволили сделать вывод, что часть показателей, например, количество взвешенных веществ, сульфатов и нитратов, значительно превышают свои значения, полученные из проб 2016 и 2020 гг. Сравнительный анализ проб разных годов показывает, что за прошедшее время произошло значительное ухудшение качества воды. К этому приводит недостаток средств для создания новых и реконструкции старых очистных сооружений и наличие беспорядочного потока туристов, требующего организации соответствующих троп, маршрутов и коммуникаций, позволяющих уменьшить антропогенное влияние на воды оз. Байкал.

Ключевые слова: антропогенные факторы, озеро Байкал, Листвянка, загрязнения, экология

Для цитирования: Дорофеева Н. Л., Бабик А. В. Влияние антропогенных факторов на качество байкальской воды // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 4. С. 539–545. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-539-545>.

Original article**Anthropogenic influence on water quality of Lake Baikal****Natalia L. Dorofeeva, Alisa V. Babik**^{1,2}Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, RussiaCorresponding author: Natalia L. Dorofeeva, dorofeeva@istu.edu

Abstract. In this work, the anthropogenic influence on the water quality in Lake Baikal was evaluated, since Lake Baikal contains 19% of the total freshwater resources. The use of data on the water quality near the Listvyanka village allows the changes in the content of ammonia, sulphates, nitrates, iron, phosphates and other substances suspended in water to be monitored. The characteristics of collected water samples were compared to previously obtained data. The evaluation of sample quality involved various techniques, including photometry using spectrophotometers, "blue ribbon" filters and desiccators. The obtained results showed that some of the indicators, for example, the amounts of suspended solids, sulphates and nitrates, significantly exceed those obtained in 2016 and 2020. The comparative analysis of samples collected in different years indicated a significant deterioration in water quality over this period. This can be explained by the lack of funds for the development and reconstruction of water and wastewater treatment facilities, along with an unregulated touristic flow, requiring the appropriate walkways, routes and utility systems in order to reduce the anthropogenic impact on the waters of Lake Baikal.

Keywords: anthropogenic factors, Lake Baikal, Listvyanka, pollution, ecology

For citation: Dorofeeva N. L., Babik A. V. Anthropogenic influence on water quality of Lake Baikal. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(4):539-545. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-539-545>.

ВВЕДЕНИЕ

Проблемы экологии стоят остро в течение последних десятилетий, и в последние годы ее важность только возрастает. Поэтому необходимо тщательно следить за состоянием самого большого и некогда чистого озера – Байкала [1]. Задачи данного исследования – определить качество байкальской воды, взятой около одного из самых активных с точки зрения туризма мест Иркутской области – пос. Листвянка, а также понять, насколько показатели за 2022 г. отличаются от данных анализов за предыдущие годы.

Поскольку, прежде всего, оз. Байкал является местом обитания многих эндемиков, таких как байкальский омуль, спирогира, голомянка, ракообразные, эпишура, тюлень, соответственно, любое изменение окружающей среды может необратимо повлиять на флору и фауну водоема [2]. Кроме того, озеро питает города и поселки, например, Иркутск, Ангарск, Листвянку, Свирск, Усть-Илимск, Братск, Кудинск, которые стоят на вытекающей из озера р. Ангаре, а, следовательно, напрямую зависят от качества поступающих вод.

На качество экологических показателей воздействуют различные факторы, но самым главным из них является антропогенный. Влияние человека на природу несоизмеримо с биотическими или абиотическими факторами, так как влияние деятельности людей охватывает всю поверхность земного шара, за исключением небольшого количества территорий. Одними из главных антропогенных методов влияния на экологию прибайкальских территорий является отсутствие очистных сооружений, либо же их недостаточная работоспособность. Также ситуацию усугубляет развитие туристической отрасли в Иркутской области и Республике Бурятия [3, 4]. Большой поток туристов увеличивает количество бытового мусора и других отходов, скапливающихся на берегах Байкала, а также попадающих в воду.

Один из источников пресной воды, имеющий мировое значение, уже долгие годы подвергается воздействию антропогенных факторов, которые могут быть химическими, физическими, биологическими или даже социальными [5]:

– химические: сбросы бытовых и производственных сточных вод;

– физические: водная эрозия, изменения среды и климата, а также нарушение гидро-биологического режима оз. Байкал;

– биологические: попадание загрязнений, из-за которых повышается количество фосфатов и нитратов, вследствие чего могут развиться различные паразиты и фитопланктон;

– социальные: ослабление у населения и туристов убеждений о необходимости содержать озеро и его берега в чистоте, а также экспансия строительства и расширение рекреационных объектов [5, 6].

Поэтому так важно проводить мониторинг состояния уникального природного объекта – оз. Байкал, чтобы при необходимости как можно скорее исключить влияние какого-либо из факторов, либо же нескольких.

Пос. Листвянка – одно из самых привлекательных мест для туристов, наряду с о. Ольхон, который также попадает под негативное влияние антропогенного давления. Присутствие людей на данных участках приводит к повышению качества пребывания на них за счет постройки новых зданий (в том числе культурно-досуговых учреждений, гостиниц, а также предприятий оптовой или розничной торговли), но и к снижению качества прилегающих к туристическим базам и другим местам размещения людей окружающей среды. Также на воде могут размещаться плавательные средства для водного туризма, самыми популярными из которых являются катаера. Их возле поселка Листвянка может насчитываться несколько десятков. При этом каждое судно непрерывно работает на протяжении многих часов, что значительно увеличивает вероятность образования аварийной ситуации [7, 8].

Научные сотрудники Лимнологического института СО РАН провели исследование и обнаружили, что часть отобранных образцов содержала антропогенный маркер. А в р. Большой Черемшанке, охватывающей жилой сектор в пос. Листвянка, концентрация этого маркера повышается. Это говорит о том, что инфраструктура в крупных прибрежных поселках не обеспечивает в должной мере защиту озера, и различные отходы попадают в прибрежные воды, нарушая баланс и здоровые экосистемы.

Например, на о. Ольхон относительно недавно произошел случайный разлив в воду

нефтепродуктов. Также на территории острова происходят постоянные загрязнения, связанные с большим притоком туристов, увеличивающимся с каждым годом, и отсутствием централизованной канализации. Это вызывает проникновение сточных вод через грунт в воду или же их прямой сброс от приезжих людей [9].

Изучение качества воды Байкала путем сбора информации и необходимых показателей, сравнение ситуации за прошедшие года с экологической обстановкой на сегодняшний день покажет в какую сторону меняется экологическая ситуация в отношении воды Байкала, а также прилегающего к озеру поселка Листвянка. Стоит отметить, что приток чистых вод в озеро в последние годы осуществляется в малых количествах, что снижает возможность водного объекта разбавляться [10].

МЕТОДЫ

Взятие проб воды около выбранного поселка и проведение исследований должно показать, как меняется состояние Байкала. Сравнив полученные результаты с данными за прошлые годы можно судить об экологической ситуации на озере и в ближайших населенных пунктах. Для получения необходимых показателей в специальной лаборатории по изучению качества воды проводятся требуемые анализы. Координаты взятия образца воды: широта: 51.845 1483; долгота: 104.875 605; высота: 458 м.

Показатели, запрошенные для сравнения: содержание железа, нитратов, аммония, сульфатов, взвешенных веществ, фосфатов и минералов. Также были исследованы мутность и водородный показатель. Чтобы получить результаты о наличии железа, нитратов и фосфатов, использовался фотометрический метод, включающий в себя визуальную фотометрию, фотоколориметрию и спектрофотометрию. В данном случае использовался спектрофотометр, на котором измерялась оптическая плотность вещества, определяющая степень поглощения света веществом. Чем сильнее вода поглощает свет, тем выше степень ее загрязненности.

Для определения взвешенных веществ и минерализации используется фильтрование на специальных обеззоленных фильтрах, с помощью которых определяется осадок, конечное постоянное количество которого и является показанием взвешенных веществ в во-

де. Для определения постоянной массы фильтра его помещают в сушильный шкаф, где фильтр высушивается до постоянной массы при температуре 105 °С в течение 2-х ч, а затем он охлаждается в эксикаторе – сосуде, в котором поддерживается постоянная влажность воздуха. Ниже приведено краткое описание некоторых методов, использованных при проведении анализов.

Железо во взятой пробе определяли следующим образом, следуя ПНД Ф 14.1:2:4.50-96¹. Суть реакции для двухвалентного железа заключается в том, что ацетилсалициловая кислота в щелочной среде дает желтое окрашивание, а с трехвалентным – фиолетовое. В изучаемую жидкость, предварительно отфильтрованную и перелитую в колбу объемом 100 см³, добавляется 10,7 мг аммония хлористого, 2 мл сульфосалициловой кислоты и 6 мл аммиака, после чего раствор доводят до метки дистиллированной водой. Далее раствор тщательно перемешивается и оставляется на несколько минут до развития окраски. Оптическая плотность изучаемой пробы исследуется в спектрофотометре. Для этого раствор переливается в специальные кварцевые бюксы и помещается в прибор. Измерение происходит на основе градуировочного графика, созданного при измерении холостой пробы, т.е. с применением дистиллированной воды.

Показатель по взвешенным веществам вычисляется согласно ПНД Ф 14.1:2:4.261-10¹: берется обеззоленный фильтр «синяя лента», промывается дистиллированной водой, после чего высушивается до постоянной массы, охлаждается и взвешивается. Затем через него фильтруют исследуемую воду – в данном случае 250 мл – снова взвешивают, высушивают и после сушки повторно взвешивают. Процедуру сушки повторяют до тех пор, пока разница между взвешиваниями не будет составлять не более 0,5 мг при массе осадка до 50 мг и 1 мг при массе более 50 мг. По разнице масс находят количество взвешенных веществ.

Нитраты определяются по методике, представленной в ГОСТ 33045-2014².

Как показано на рисунке, чтобы найти количество нитратов, берется три керамических блюда, два из которых заполняются исследуемой водой, а третье – дистиллированной. Все три блюда с жидкостью ставятся на печь

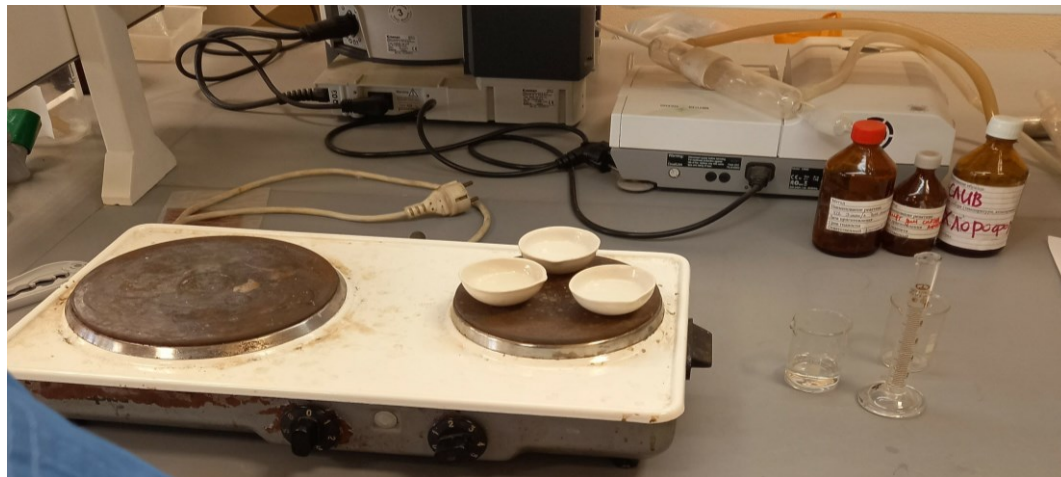
¹ПНД Ф 14.1:2:4.50-96 Количественный химический анализ вод // Кодекс [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/898902517> (09.08.2022).

²ГОСТ 33045-2014 Вода. Методы определения азотсодержащих веществ // Кодекс [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200115428> (09.08.2022).

выпариваться и после этого в каждое блюдце добавляется по 10 мл дистиллированной воды. После этого жидкости переносятся в колбы объемом по 50 см³. Добавлением гидроксида натрия количество жидкости доводится до объема в 30 см³, после чего до отметки в 50 см³ доливается дистиллированная вода.

Измерение происходит на спектрофотометре с построением градуировочного графика. Ссылка на документ, подтверждающий достоверность предоставленной информации³.

В таблице представлены сравнительные характеристики байкальской воды возле пос. Листвянка за последние несколько лет [11].



Выпаривание пробы байкальской воды в керамических блюдцах
Evaporation of Baikal water samples in ceramic plates

Сравнительная характеристика качества байкальской воды около пос. Листвянка
Comparative characteristics of the quality of Baikal water near the village of Listvyanka

Компонент	2016 г.	2020 г.	2022 г.	ПДК
Взвешенные вещества, мг/дм ³	0,0030	0,05	9,6 ± 2,9	10
Аммиак, мг/дм ³	0,1	1,01	<0,1	–
РН	7,35	7,5	7,42	6,0–9,0
Сульфат-ион	6,07	5,7	8,19 ± 4,1	100
Нитрат-ион, мг/л	0,01	0,01	0,16 ± 0,032	9
Железо, мг/л	0,006	0,02	<0,05	0,1
Фосфат-ион ₄ , мг/дм ³	0,05	1,6	<0,05	0,5

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнив показатели за 2016, 2020 и 2022 гг., можно судить о том, что состояние общей экологической обстановки в регионе оказывает влияние на качество байкальской воды. Такие показатели как взвешенные вещества сульфаты и нитраты значительно превышают данные за прошлые года, и, хотя они находятся в пределах нормы, это является показателем ухудшения экологической обстановки. Остальные показатели остаются примерно одинаковыми на протяжении нескольких лет. Большая часть бассейна озера способна достаточно самоочищаться, чтобы воздействие людей и остатков их жизнедеятельности не вредило водным ресурсам, а также

организмам, находящимся в этой воде. Но загрязнение воды вдоль берегов давно подтверждены многочисленными проверками и анализами [12], что обусловлено плохим состоянием очистных сооружений близлежащих населенных пунктов и увеличением потока туристов, посещающих достопримечательности вблизи Байкала, а также бесконтрольным строительством различных сооружений туристического назначения. Данные антропогенные факторы приводят к загрязнению вод озера, медленно, но верно, способствуя увеличению количества попадающих в озеро вредных веществ.

ВЫВОДЫ

Согласно проведенным анализам, можно

³Анализ воды. Листвянка-2022 // Docs.google.com [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.google.com/document/d/1vCX4dNdXGknWqx7n7aq9CoFk4q5heS7aW1CXtB5sU/edit> (09.08.2022).

сказать, что качество окружающей среды и экологическая обстановка в целом является приемлемой, но некоторые проблемы до сих пор продолжают существовать, постепенно все больше усугубляя ситуацию. Для улучшения ситуации и приведения показателей водоема к требуемым нормативным показателям в первую очередь необходимо для предотвращения слива стоков в водную среду построить новые очистные сооружения вдоль русла рек, впадающих в озеро, и реконструировать ста-

рые [13]. Также можно рекомендовать упорядочение движения потоков туристов, посещающих территории оз. Байкал, частичное ограничение доступности отдельных мест и организацию соответствующих коммуникаций, уменьшающих антропогенное влияние на воду.

Большой поток людей приводит к появлению мусора, а, следовательно, необходимо увеличить контроль за его сбором, а также осуществить установку дополнительных мусорных контейнеров [14, 15].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Тимошкин О. А., Сутурин А. Н., Бондаренко Н. А., Куликова Н. Н., Рожкова Н. А., Шевелева Н. Г., [и др.]. Биология прибрежной зоны озера Байкал. Сообщение 1. Заплесковая зона: первые результаты междисциплинарных исследований, важность для мониторинга экосистемы // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Биология. Экология. 2011. Т 4. № 4. С. 75–110.
2. Pride Brown K., Gerber A., Bedulina D., Timofeyev M. A. Human impact and ecosystemic health at Lake Baikal // Wires water. 2021. Vol. 8. No. 4. P. 1528. <https://doi.org/10.1002/wat2.1528>.
3. Хертуев В. Н., Григорьева Л. О., Алексеева И. И. Влияние туризма на экологию озера Байкал // Землеустройство, кадастр недвижимости и мониторинг земельных ресурсов: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (г. Улан-Удэ, 15–17 июня 2020 г.). г. Улан-Удэ: Бурятский государственный университет им. Доржи Банзарова, 2020. С. 225–231.
4. Pellinen V., Cherkashina T., Gustaytis M. Assessment of metal pollution and subsequent ecological risk in the coastal zone of the Olkhon Island, Lake Baikal, Russia // The science of the total environment. 2021. Vol. 786. P. 147441. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147441>.
5. Верхозина В. А. Влияние антропогенного фактора на микробиальные процессы круговорота азота // Совершенствование регионального мониторинга состояния оз. Байкал: сб. ст. Л., 1985. С. 66–70.
6. Анохин Ю. А., Матвеев А. А., Пуртова Л. Я. Акватория озера Байкал. Гл. 2. Анализ, оценка и обобщение информации о состоянии окружающей среды в бассейне озера Байкал // Мониторинг состояния озера Байкал: монография. Л.: Гидрометеиздат, 1991. С. 74–76.
7. Сычев М. А., Макарова В. А. Экологические проблемы озера Байкал // Актуальные проблемы науки и практики. 2020. № 1. С. 37–40.
8. Gagarinova O. V., Belozertseva I. A., Vorobyova I. B., Vlasova N. V., Emelyanova N. V., Sorokovoi A. A. Anthropogenic Transformations in the Mouth Area of Tributaries as Factors of Negative Impact on Lake Baikal // Water. 2021. Vol. 13. No. 9. P. 1295. <https://doi.org/10.3390/w13091295>.
9. Бабик А. В., Поспелова М. Я. Анализ экологической ситуации на о. Ольхон // Градостроительство. Теория, практика, образование: материалы IV Всеросс. науч.-практ. конф. (г. Иркутск, 8 апреля 2022 г.). Иркутск: Изд-во Иркутского национального исследовательского технического университета, 2022. С. 373–377.
10. Иванилова Е. А. Анализ экологического состояния в центральной зоне Байкальской природной территории на примере пос. Листвянка // Молодежный вестник ИрГТУ. 2019. Т. 9. № 4. С. 55–59.
11. Желонкина Д. Е., Поспелова М. Я. Как изменилась экологическая ситуация в поселке Листвянка за последние 5 лет // Теория, практика, образование: материалы IV Всеросс. науч.-практ. конф. (г. Иркутск, 8 апреля 2022 г.). Иркутск: Изд-во Иркутского национального исследовательского технического университета, 2022. С. 377–382.
12. Горшкова А. С. Иркутские ученые изучили источники поступления санитарно-показательных бактерий в прибрежную зону Байкала // Иркутск сегодня [Электронный ресурс]. URL: <https://irk.today/2022/04/22/irkutskie-uchenye-izuchili-istochniki-postupleniya-sanitarno-pokazatelnyh-bakteriy-v-pribezhnuyu-zonu-baykala/> (22.04.2022).
13. Кашпарова А. И. Проект реконструкции очистных в Листвянке планируют направить на экспертизу осенью // Ircity [Электронный ресурс]. URL: <https://ircity.ru/text/ecology/2022/07/28/71523770/> (28.07.2022).
14. Сокур А. С., Тимошенко Н. А. Озеро Байкал как объект всемирного наследия ЮНЕСКО // Модернизация Российского общества и образования: новые экономические ориентиры, стратегии управления, вопросы правоприменения и подготовки кадров: материалы XXI национальной науч. конф. (с международным участием) (г. Таганрог, 16–18 апреля 2020 г.). Таганрог: Таганрогский Институт управления и экономики, 2020. С. 553–555.

15. Невиницына В. С., Осипкина Ю.А., Ноткина В.О., Слободенюк А.И. Проблемы сохранения экологической безопасности озера Байкал // Наука и инновации в XXI веке: актуальные во-

просы, открытия и достижения: сб. ст. XXVI Междунар. науч.-практ. конф. (г. Пенза, 25 августа 2021 г.). Пенза: Наука и просвещение, 2021. С. 76–79.

REFERENCES

1. Timoshkin O. A., Suturen A. N., Bondarenko N. A., Kulikova N. N., Rozhkova N. A., Sheveleva N. G., et al. Biology of the coastal zone of Lake Baikal. 1. Overview of the current knowledge on the splash zone, first results of interdisciplinary investigations, monitoring as a basic tool in ecological research. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Biologiya. Ecologiya = The bulletin of Irkutsk state university. Series: Biology. Ecology*. 2011;4(4):75-110. (In Russ.).
2. Pride Brown K., Gerber A., Bedulina D., Timofeyev M. A. Human impact and ecosystemic health at Lake Baikal // *Wires water*. 2021;8(4):1528. <https://doi.org/10.1002/wat2.1528>.
3. Hertuev V. N., Grigoryeva L. O., Alekseeva I. I. Influence of tourism on ecology of lake Baikal. In: *Zemleustroistvo, kadastr nedvizhimosti i monitoring zemel'nykh resursov: materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Land management, real estate cadastre and monitoring of land resources: materials of the International Scientific and Practical Conference*. June 15-17 2020, Ulan-Ude. Ulan-Ude: Buryat State University named after Dorzhi Banzarova; 2020. p. 225-231. (In Russ.).
4. Pellinen V., Cherkashina T., Gustaytis M. Assessment of metal pollution and subsequent ecological risk in the coastal zone of the Olkhon Island, Lake Baikal, Russia. *The science of the total environment*. 2021. Vol. 786. P. 147441. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147441>.
5. Verkhozina V. A. Influence of anthropogenic factor on microbial processes of nitrogen circulation. In: *Improvement of regional monitoring of the state of the lake. Baikal: collection of articles*. Leningrad; 1985. p. 66-70. (In Russ.).
6. Anokhin Yu. A., Matveev A. A., Purtova L. Ya. The water area of Lake Baikal. Chapter 2. Analysis, assessment and generalization of information on the state of the environment in the Lake Baikal basin. In: *Monitoring the state of Lake Baikal*. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1991. p. 74-76. (In Russ.).
7. Sychev M. A., Makarova V. A. Ecological problems of Lake Baikal. *Aktual'nye problemy nauki i praktiki*. 2020;1:37-40. (In Russ.).
8. Gagarinova O. V., Belozertseva I. A., Vorobyova I. B., Vlasova N. V., Emelyanova N. V., Sorokovoi A. A. Anthropogenic Transformations in the Mouth Area of Tributaries as Factors of Negative Impact on Lake Baikal. *Water*. 2021;13(9):1295. <https://doi.org/10.3390/w13091295>.
9. Babik A. V., Pospelova M. Ya. Analysis of the ecological situation on Olkhon Island. *просьбы, открытия и достижения: сб. ст. XXVI Междунар. науч.-практ. конф. (г. Пенза, 25 августа 2021 г.). Пенза: Наука и просвещение, 2021. С. 76–79.*
10. Ivanilova E. A. Analysis of the ecological state in the central zone of the baikal natural territory in the case of Listvyanka village. *Molodezhnyi vestnik IrGTU = ISTU bulletin of youth*. 2019;9(4):55-59. (In Russ.).
11. Zhelonkina D. E., Pospelova M. Ya. How has the ecological situation in the village of Listvyanka changed over the past 5 years. *Gradostroitel'stvo. In: Teoriya, praktika, obrazovanie: materialy IV Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Urban planning. Theory, practice, education: materials of the IV All-Russian Scientific and Practical Conference*. 8 April 2022, Irkutsk. Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University; 2022. p. 373-377. (In Russ.).
12. Gorshkova A. S. Irkutsk scientists have studied the sources of receipt of sanitary-indicative bacteria in the coastal zone of Lake Baikal. *Irkutsk today*. Available from: <https://irk.today/2022/04/22/irkutskie-uchenyie-izuchili-istochniki-postupleniya-sanitarno-pokazatelnykh-bakteriy-v-priobrazhennuyu-zonu-baykala/> [22nd April 2022]. (In Russ.).
13. Kashparova A. I. The reconstruction project of the sewage treatment plants in Listvyanka is planned to be sent for examination in the fall. *Ircity.ru*. Available from: <https://ircity.ru/text/ecology/2022/07/28/71523770/> [28th July 2022]. (In Russ.).
14. Sokur A. S., Tymoshenko N. A. Lake Baikal as an object of the UNESCO world heritage. In: *Modernizatsiya Rossiiskogo obshchestva i obrazovaniya: novye ekonomicheskie orientiry, strategii upravleniya, voprosy pravoprimeneniya i podgotovki kadrov: materialy XXI natsional'noi nauchnoy konferentsii (s mezhdunarodnym uchastiem) = Modernization of Russian Society and Education: New Economic Guidelines, Management strategies, law enforcement and training issues: proceedings of the XXI National Scientific Conference (with international participation)*. 16-18 April 2020, Taganrog. Taganrog: Taganrog Institute of Management and Economics; 2020. p. 553-555. (In Russ.).
15. Nevinitsyna V. S., Osipkina Yu. A., Notkina V. O., Slobodenyuk A. I. Problems of conservation of environmental safety of lake Baikal. In: *Nauka i innovatsii v XXI veke: aktual'nye voprosy, otkrytiya i dostizheniya: sb. st. XXVI Mezhdunarodnoi nauch-*

no-prakticheskoi konferentsii = Science and Innovation in the XXI century: topical issues, discoveries and achievements: Collection of the XXVI Interna-

tional Scientific and Practical Conference.
25 August 2021, Penza. Penza: Nauka i prosveshchenie; 2021. p. 76-79.

Информация об авторах**Н. Л. Дорофеева,**

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры механики
и сопротивления материалов,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: dorofeeva@istu.edu
<https://orcid.org/0000-0002-2900-6794>

А. В. Бабик,

студент,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: alice.b.k@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2274-8813>

Information about the authors**Natalia L. Dorofeeva,**

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Mechanics and Strength of Materials,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: dorofeeva@istu.edu
<https://orcid.org/0000-0002-2900-6794>

Alisa V. Babik,

Student,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: alice.b.k@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2274-8813>

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.

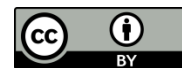
The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 02.09.2022.
Одобрена после рецензирования 21.09.2022.
Принята к публикации 22.09.2022.

Information about the article

The article was submitted 02.09.2022.
Approved after reviewing 21.09.2022.
Accepted for publication 22.09.2022.



Определение приоритетных направлений по обеспечению надежной и эффективной работы существующих систем подачи и распределения воды

© Алексей Сергеевич Душин

Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия,
a.s.dushin@mail.ru

Аннотация. Целью является разработка методики поиска приоритетных направлений для обеспечения и дальнейшего поддержания надежности и эффективности работы существующих систем подачи и распределения воды на требуемом уровне на основе ранее сформированных математических моделей отбора воды (метод сечений) и распределения потоков. Основной задачей, стоящей перед организациями, эксплуатирующими системы подачи и распределения воды, является качественное снабжение потребителей водой. Независимо от изношенности систем подачи и распределения воды, а также изменения их структурного состояния, потребителю вода должна поступать в необходимом количестве и с установленными в соответствии с режимом параметрами. Моделирование работы систем подачи и распределения воды, учитывающее многообразие возможных режимов, указывает на широкий диапазон возможного поведения системы, например, низкое качество снабжения потребителей при безаварийной работе системы, отсутствие влияния отключений некоторых участков на качество снабжения потребителей. Необходимо глубокий анализ с привлечением математического аппарата. При составлении математических моделей использованы вероятностные узловые показатели надежности водоснабжения потребителей – K_j и P_j , разложенные на составляющие компоненты, характеризующие изношенность элементов (участков) системы и надежность снабжения потребителей в каждом ее отдельном структурном состоянии. Оценивается необходимость корректировки параметров системы для обеспечения требуемого уровня надежности ее работы, намечаются возможные варианты решений. Техничко-экономическое сравнение возможных мероприятий позволяет определить оптимальный вариант, расставить приоритеты по замене устаревших и строительству дополнительных элементов (участков) системы. На примере системы представлены все этапы предлагаемой методики, которая может найти широкое применение у организаций, занимающихся эксплуатацией систем подачи и распределения воды.

Ключевые слова: водоснабжение, система подачи и распределения воды, качество функционирования систем подачи и распределения воды, многорежимность работы, надежность водоснабжения потребителей, узловые показатели надежности, изношенность водопроводных сетей, моделирование работы систем подачи и распределения воды

Для цитирования: Душин А. С. Определение приоритетных направлений по обеспечению надежной и эффективной работы существующих систем подачи и распределения воды // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 4. С. 546–559. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-546-559>.

Original article

Identification of priority areas for ensuring reliable and efficient operation of existing water supply and distribution systems

Aleksei S. Dushin

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia,
a.s.dushin@mail.ru

© Душин А. С., 2022

Abstract. This paper addresses a method for determining priority areas for ensuring and maintaining the sufficient reliability and efficiency of existing water supply and distribution systems, based on previously obtained mathematical models of water sampling (cross-section method) and flow distribution. The main task of the organisations, operating water supply and distribution systems, involves a high-quality water supply to consumers. Regardless of the wear of water supply and distribution systems, as well as changes in their structural state, the water having suitable parameters must be supplied to the consumer in the required quantity. Given the variety of regimes, modelling the operation of water supply and distribution systems indicates a wide range of their possible behaviour, for example, poor quality of supply to consumers during trouble-free operation or no impact of shutdowns of some sections on the quality of supply. It is necessary to analyse the systems and model their operation regimes using a mathematical tool. Here, probabilistic nodal reliability indices of water supply to consumers were used in mathematical models. They include K_j and P_j , decomposed into components characterising the wear of elements (sections) in the system and the reliability of supply to consumers in each of its structural states. The need to adjust the system parameters to ensure the required level of reliability of its operation was assessed, with various solutions being outlined. The technical and economical comparison of possible measures allows an optimum option to be determined, prioritising the replacement of outdated elements and the construction of additional elements (sections) of the system. All stages of the suggested method, which can be widely used by organisations, maintaining water supply and distribution systems, are shown in the example of a system.

Keywords: water supply, water supply and distribution system, quality of functioning of water supply and distribution systems, multi-mode operation, reliability of water supply to consumers, nodal reliability indicators, deterioration of water supply networks, modeling of water supply and distribution systems

For citation: Dushin A. S. Identification of priority areas for ensuring reliable and efficient operation of existing water supply and distribution systems. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2022;12(4):546-559. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-546-559>.

ВВЕДЕНИЕ

Качественное оказание услуг по снабжению потребителей водой – основная задача коммунальных служб, для выполнения которой грамотно должна быть организована работа по оперативному и техническому обслуживанию систем подачи и распределения воды (СПРВ), что требует большого объема финансовых вложений. Именно в период эксплуатации дополнительно приходится расплачиваться за просчеты и нарушения, допущенные на стадии проектирования. Работа системы становится неэффективной, не отвечающей на предъявляемые к ней требования надежности. Сложность поставленной задачи составляет динамичность работы СПРВ, так как система функционирует в условиях изменяющегося водопотребления, износа элементов (участков). Многообразие возможных комбинаций отборов воды из системы, их вероятностная составляющая, возможные изменения структуры системы в связи с отключениями, выводом в ремонт ее элементов (аварийных участков) определяют качество снабжения водой подключенных абонентов. Решению серьезной проблемы должен помочь

накопленный опыт¹ [1–19]: понимание происходящих в системе процессов, их математическое описание, учет закономерностей. Компьютерные технологии, разработка специально создаваемого математического аппарата станут инструментом в этом решении. Требуется разработка методики, которая позволила бы эксплуатирующим СПРВ организациям самостоятельно разрабатывать эффективные мероприятия по повышению качества функционирования системы, снижению рисков нанесения возможных ущербов.

Целью является разработка методики поиска приоритетных направлений для обеспечения и дальнейшего поддержания надежности и эффективности работы существующих систем подачи и распределения воды на требуемом уровне на основе ранее сформированных математических моделей отбора воды (метод сечений) и распределения потоков.

МЕТОДЫ

Как и любая другая система, СПРВ подвержена износу и старению, возникающие при этом аварии приводят к дополнительной нагрузке на систему, а с момента переключений – и вовсе к изменению структуры. Оценка

¹Пугачев В. С. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие. М.: Наука, 1979. 496 с.

качества снабжения потребителей должна производиться с учетом износа стареющих элементов. На текущий момент основным показателем, указывающим на аварийность работы систем в связи с изношенностью ее участков, является λ – интенсивность отказов, $[1/(\text{км} \cdot \text{год})]$. Чем выше срок службы участков, тем выше указанный показатель $\lambda = f(t)$. Показатель λ зависит от множества составляющих: от диаметра, материала участка сети, давления в сети, свойств грунта и других условий эксплуатации. Согласно литературным источникам², интенсивность отказов i -го участка тепловых сетей определяется в соответствии с формулой

$$\lambda_i = \lambda_0 \cdot (0,1 \cdot \tau_i^{\text{экпл}})^{\alpha_i - 1}, \quad (1)$$

где i – номер участка тепловой сети; λ_i – интенсивность отказов i -го участка тепловой сети, $1/(\text{км} \cdot \text{год})$; λ_0 – интенсивность отказов теплопровода, соответствующая начальному периоду эксплуатации, $1/(\text{км} \cdot \text{год})$; $\tau_i^{\text{экпл}}$ – продолжительность эксплуатации участка, лет; α_i – коэффициент, учитывающий продолжительность эксплуатации i -го участка теплопровода. Для оценки изношенности водопроводных сетей указанная математическая модель также могла бы найти применение.

В СПРВ работа каждого участка по-разному оказывает влияние на качество снабжения водой узлов-потребителей: от практически не имеющих влияния до влияния на их значительное количество.

Возникает вопрос о приоритетном выборе направляемых на перекачку изношенных участков. Есть резон в первую очередь производить замену участков, вносящих наибольший вклад в качество работы системы. Возможно другое развитие событий: аварий на

сетях может не наблюдаться, но качество снабжения потребителей при этом будет низким. К такому последствию могут привести неверно подобранные на стадии проектирования параметры и структура системы. На снижение качества снабжения водой во времени могут повлиять: увеличение количества потребителей, их распределение по территории, увеличение требуемых напоров (строительство высотных зданий) и т.д. Влияющих факторов большое количество. Работа системы во времени динамична, не всегда ее безаварийное состояние является гарантией надежного водоснабжения потребителей.

При выборе участков, подлежащих приоритетной перекачке, должен учитываться не только параметр – интенсивность отказов как составляющая увеличения вероятности отключения участков, изменения структуры системы, но и сама структура системы, ее готовность к качественному водоснабжению потребителей при каждом своем состоянии.

Исходным материалом к созданию методики поиска приоритетных направлений по повышению надежности и эффективности функционирования системы являются ранее созданные методики моделирования вероятностных отборов воды из сети (метод сечений), вероятностного распределения потоков, разработка вероятностных показателей надежности обеспечения потребителей, отраженные в статьях [9–11].

Модель вероятностных отборов воды потребителями

В общих чертах можно представить каждый узел отбором воды большой группы потребителей. На рис. 1 изображена плотность распределения вероятности узлового отбора воды по часу.

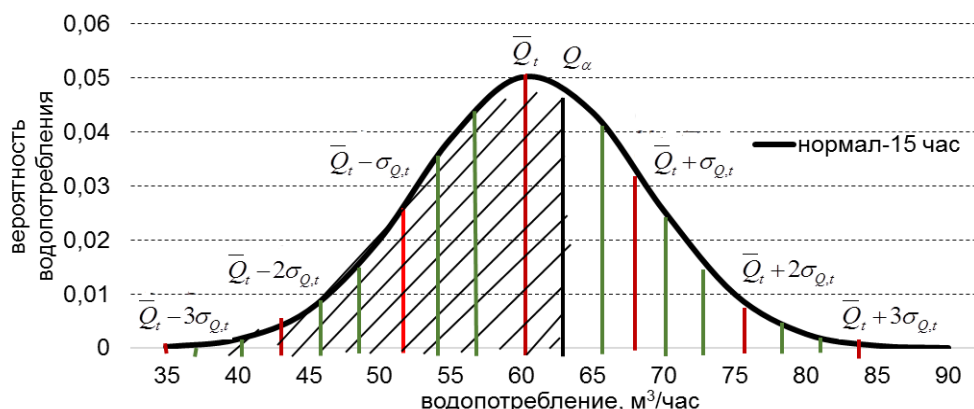


Рис. 1. Плотность распределения вероятности узлового отбора воды часа t
Fig. 1. Probability density distribution of the nodal water withdrawal hour t

²Методика и алгоритм расчета надежности тепловых сетей при разработке схем теплоснабжения городов. М., 2013.

Распределение вероятности водопотребления рассеивается на несколько k равных интервалов $[\alpha_{s-1}; \alpha_s]$, с размером каждого $\sigma_{j,t}/3$, где $\sigma_{j,t}$ – среднеквадратическое отклонение отбора, м³/час.

Часовые распределения потоков воды по участкам сети в соответствии системами

$$\begin{cases} AX_{\alpha_s,t} = Q_{\alpha_s,t} \\ A^T P_{\alpha_s,t} = SX_{\alpha_s,t}^2 - H_t \end{cases}$$

где t – время (час); α_s [0,...,18] – сечения; A – $(m-1) \cdot n$ матрица соединений узлов и ветвей расчетной схемы; A_{as} – усеченные матрицы A ; X – n – вектор расходов на ветвях расчетной схемы; H – n – вектор действующих напоров на ветвях; P – $(m-1)$ – мерный вектор узловых давлений; Q – $(m-1)$ – мерный вектор узловых отборов с элементами Q_j .

Качество работы СПРВ оценивается пока-

$$K_j = \frac{1}{24} \cdot \sum_{t=1}^{24} \left(\rho_{j,t,\text{безав}}^{\text{обеспечения}} \cdot \rho_0 + \sum_{i=1}^n \left(\rho_{j,t,i}^{\text{обеспечения}} \cdot \rho_{\text{откл},i} \right) \right) P_j = \exp \left(-\frac{1}{24} \cdot \rho_0 \cdot \sum_{t=1}^{24} \sum_{d=1}^n \lambda_d \cdot l_d \cdot \tau_{j,t} \right),$$

где λ – интенсивность отказов участка, 1/(км·год); l – длина участка, км; $T_{j,d}$ – продолжительность обеспечения потребителя j водой ниже минимально допустимого значения;

$$\tau_{j,d} = T \cdot \frac{1}{24} \cdot \sum_{t=1}^{24} (1 - \rho_{j,t}^{\text{обеспечения}}) = T \cdot \frac{1}{24} \cdot \left(24 - \sum_{t=1}^{24} \rho_{j,t}^{\text{обеспечения}} \right) = T \cdot \left(1 - \frac{1}{24} \cdot \sum_{t=1}^{24} \rho_{j,t}^{\text{обеспечения}} \right)$$

где T – продолжительность исследуемого периода, год; $\rho_{j,t}^{\text{обеспечения}}$ – вероятность часового обеспечения j -го потребителя при

$$\bar{q}_{j,k} \geq \varphi_k^{as}, k \in F_j^k,$$

где $\bar{q}_{j,k}$ – относительный (к расчетному расходу) часовой расход воды у j -го потребителя при отказе j -го элемента кольцевой части сети; F_j^k – множество участков кольцевой части водопроводной сети, гидравлически связанных с j -м потребителем; φ_k^{as} – норма подачи воды потребителям в аварийных ситуациях.

$$K_j = \left(\frac{1 + \sum_{i=1}^n \gamma_i}{\prod_{i=1}^n (1 + \gamma_i)} \right) \cdot \left(\frac{1}{24} \cdot \sum_{t=1}^{24} ((0,5 \pm \Phi(-3 + \alpha_s/3))) \right) \rho_{j,\alpha_s,t}^{\text{обеспечения}} \text{ при } Q_{j,\alpha_s,t}^{\text{нефикс}} = Q_{j,\alpha_s,t}^{\text{треб}} \quad (2)$$

уравнений:

1. Безаварийный режим (без изменения структуры сети).

2. Аварийные режимы (отключение участков СПРВ при ординарном потоке отказов i [1,..., n]):

$$\begin{cases} A_{as} X_{\alpha_s,t} = Q_{\alpha_s,t} \\ A_{as}^T P_{\alpha_s,t} = SX_{\alpha_s,t}^2 - H_t \end{cases}$$

зателями расчетного и пониженного уровня обеспечения потребителей: K_j – коэффициент готовности к обеспечению расчетного водоснабжения j -го потребителя, P_j – вероятность безотказного водоснабжения j -го потребителя.

Методика формирования показателей K_j , P_j изложена в статьях [11–13]. Основные ее моменты изложены ниже:

d – множество элементов СПРВ, выход которых в аварию нарушает пониженный уровень водоснабжения j -го потребителя:

Моделирование работы систем производится с применением специально созданного математического аппарата – ранее разработанной и представленной программы для ЭВМ³ «Программа по оценке надежности обеспечения потребителей водой», которая внесена в реестр программ для ЭВМ (Роспатент).

Вывод о надежности СПРВ делается на основе сопоставления сформированных показателей надежности снабжения водой потребителей с нормируемыми значениями: $K_j \geq K_j$ (норм); $P_j \geq P_j$ (норм).

Описание разрабатываемой методики
Формирование показателей K_j , P_j происходит следующим образом:

³Чупин В. Р., Душин А. С. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020615619 от 27 мая 2020 г.

$$P_j = \exp \left(- \left[\frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot l_i \cdot T}{\prod_{i=1}^n (1 + \gamma_i)} \cdot \left(1 - \frac{1}{24} \cdot \sum_{t=1}^{24} (0,5 \pm \Phi(-3 + \alpha_s/3)) \right) \right] \right)$$

$$P_{j,\alpha_s,t}^{\text{обеспечения}} \text{ при } Q_{j,\alpha_s,t}^{\text{нефикс}} \geq 0,7 \cdot Q_{j,\alpha_s,t}^{\text{треб}} \quad (3)$$

В работе [19] для проведения анализа и выявления проблемных участков представлен процесс получения и использования частных показателей надежности K_j^i и P_j^i :

$$K_j^i = \left(\frac{1}{24} \cdot \sum_{t=1}^{24} ((0,5 \pm \Phi(-3 + \alpha_s/3))) \right)$$

$$P_{j,\alpha_s,t}^{\text{обеспечения}} \text{ при } Q_{j,\alpha_s,t}^{\text{нефикс}} = Q_{j,\alpha_s,t}^{\text{треб}}$$

$$P_j^i = \exp \left(- \left[\left(1 - \frac{1}{24} \cdot \sum_{t=1}^{24} (0,5 \pm \Phi(-3 + \alpha_s/3)) \right) \right] \right)$$

$$P_{j,\alpha_s,t}^{\text{обеспечения}} \text{ при } Q_{j,\alpha_s,t}^{\text{нефикс}} \geq 0,7 \cdot Q_{j,\alpha_s,t}^{\text{треб}} \quad (4)$$

Связь частных показателей с обобщенными:

$$K_j = \left(\frac{\left(1 + \sum_{i=1}^n \gamma_i \right) \cdot K_j^i}{\prod_{i=1}^n (1 + \gamma_i)} \right) P_{j,\alpha_s,t}^{\text{обеспечения}} \text{ при } Q_{j,\alpha_s,t}^{\text{нефикс}} = Q_{j,\alpha_s,t}^{\text{треб}} \quad (4)$$

$$P_j = \exp \left(- \left[\frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot l_i \cdot T}{\prod_{i=1}^n (1 + \gamma_i)} \cdot (-\ln(P_j^i)) \right] \right) = \exp \left(\frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot l_i \cdot T \cdot \ln(P_j^i)}{\prod_{i=1}^n (1 + \gamma_i)} \right) = \exp \left(\frac{\sum_{i=1}^n (\lambda_{0,i} \cdot (0,1 \cdot \tau_i^{\text{эпл}})^{\alpha_i-1}) \cdot l_i \cdot T \cdot \ln(P_j^i)}{\prod_{i=1}^n (1 + \gamma_i)} \right) \quad (5)$$

$$P_{j,\alpha_s,t}^{\text{обеспечения}} \text{ при } Q_{j,\alpha_s,t}^{\text{нефикс}} \geq 0,7 \cdot Q_{j,\alpha_s,t}^{\text{треб}}, \text{ и } -\ln(P_j^i) = \left(1 - \frac{1}{24} \cdot \sum_{t=1}^{24} (0,5 \pm \Phi(-3 + \alpha_s/3)) \right)$$

Периоду нормальной эксплуатации будут соответствовать минимальные значения² $\lambda = \lambda_0$ [3]:

$$P_j^0 = \exp \left(\frac{\sum_{i=1}^n \lambda_{0,i} \cdot l_i \cdot T \cdot \ln(P_j^i)}{\prod_{i=1}^n (1 + \gamma_i)} \right),$$

где λ_0 – интенсивность отказов, соответствующая периоду нормальной эксплуатации. Каждый потребитель, подключенный к системе, должен быть обеспечен требуемым количеством и качеством воды. Проверку стоит начинать с определения расчетных показателей K_j , P_j каждого потребителя, сопоставления их с нормируемыми значениями K_j (норм), P_j (норм). Если расчетные показатели каждого

потребителя выше нормируемых, можно не производить никаких действий.

Система работает качественно. Если расчетные показатели надежности узлов-потребителей P_j ниже нормируемых значений $P_j < P_j$ (норм), то возникает необходимость в выявлении причин, снижающих качество снабжения водой указанных потребителей, и в разработке мероприятий по их устранению.

В данном случае предлагается начать с определения K_j , P_j при минимальных значениях $\lambda = \lambda_0$, соответствующих периоду нормальной эксплуатации.

Для наглядности проведены следующие манипуляции – преобразовано уравнение (5) в представленном виде:

$$\frac{\sum_{i=1}^n \lambda_{0,i} \cdot l_i \cdot T \cdot \ln(P_j^i)}{\prod_{i=1}^n (1 + \gamma_i)} = \ln(P_j^0) \rightarrow \sum_{i=1}^n \lambda_{0,i} \cdot l_i \cdot T \cdot \ln(P_j^i) = \lambda_{0,1} \cdot l_1 \cdot T \cdot \ln(P_j^1) + \dots + \lambda_{0,n} \cdot l_n \cdot T \cdot \ln(P_j^n) = \ln(P_j^0) \cdot \left(\prod_{i=1}^n (1 + \gamma_i) \right) \quad (6)$$

На примере схемы (рис. 2) представлены следующие шаги.

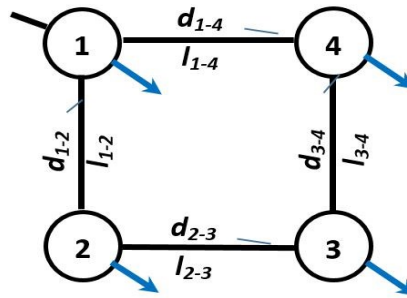


Рис. 2. Схема систем подачи и распределения воды кольцевой структуры
Fig. 2. Diagram of water supply and distribution systems of the ring structure

При использовании методики частных показателей надежности, уравнение (6) для указанной схемы выражено системой

$$\begin{cases} \lambda_{0,1-2} \cdot l_{1-2} \cdot T \cdot \ln(P_1^{1-2}) + \lambda_{0,2-3} \cdot l_{2-3} \cdot T \cdot \ln(P_1^{2-3}) + \lambda_{0,3-4} \cdot l_{3-4} \cdot T \cdot \ln(P_1^{3-4}) + \lambda_{0,1-4} \cdot l_{1-4} \cdot T \cdot \ln(P_1^{1-4}) = \ln(P_1^0) \cdot \left(\prod_{i=1}^n (1 + \gamma_i) \right) \\ \lambda_{0,1-2} \cdot l_{1-2} \cdot T \cdot \ln(P_2^{1-2}) + \lambda_{0,2-3} \cdot l_{2-3} \cdot T \cdot \ln(P_2^{2-3}) + \lambda_{0,3-4} \cdot l_{3-4} \cdot T \cdot \ln(P_2^{3-4}) + \lambda_{0,1-4} \cdot l_{1-4} \cdot T \cdot \ln(P_2^{1-4}) = \ln(P_2^0) \cdot \left(\prod_{i=1}^n (1 + \gamma_i) \right) \\ \lambda_{0,1-2} \cdot l_{1-2} \cdot T \cdot \ln(P_3^{1-2}) + \lambda_{0,2-3} \cdot l_{2-3} \cdot T \cdot \ln(P_3^{2-3}) + \lambda_{0,3-4} \cdot l_{3-4} \cdot T \cdot \ln(P_3^{3-4}) + \lambda_{0,1-4} \cdot l_{1-4} \cdot T \cdot \ln(P_3^{1-4}) = \ln(P_3^0) \cdot \left(\prod_{i=1}^n (1 + \gamma_i) \right) \\ \lambda_{0,1-2} \cdot l_{1-2} \cdot T \cdot \ln(P_4^{1-2}) + \lambda_{0,2-3} \cdot l_{2-3} \cdot T \cdot \ln(P_4^{2-3}) + \lambda_{0,3-4} \cdot l_{3-4} \cdot T \cdot \ln(P_4^{3-4}) + \lambda_{0,1-4} \cdot l_{1-4} \cdot T \cdot \ln(P_4^{1-4}) = \ln(P_4^0) \cdot \left(\prod_{i=1}^n (1 + \gamma_i) \right) \end{cases}$$

Для наглядности Система представлена выражением

$$\lambda_{1-2} \cdot l_{1-2} \cdot T \begin{bmatrix} \ln(P_1^{1-2}) \\ \ln(P_2^{1-2}) \\ \ln(P_3^{1-2}) \\ \ln(P_4^{1-2}) \end{bmatrix}; \lambda_{2-3} \cdot l_{2-3} \cdot T \begin{bmatrix} \ln(P_1^{2-3}) \\ \ln(P_2^{2-3}) \\ \ln(P_3^{2-3}) \\ \ln(P_4^{2-3}) \end{bmatrix}; \lambda_{3-4} \cdot l_{3-4} \cdot T \begin{bmatrix} \ln(P_1^{3-4}) \\ \ln(P_2^{3-4}) \\ \ln(P_3^{3-4}) \\ \ln(P_4^{3-4}) \end{bmatrix}; \lambda_{1-4} \cdot l_{1-4} \cdot T \begin{bmatrix} \ln(P_1^{1-4}) \\ \ln(P_2^{1-4}) \\ \ln(P_3^{1-4}) \\ \ln(P_4^{1-4}) \end{bmatrix}.$$

Формируется табл. 1 частных показателей.

Таблица 1. Определение частных показателей P_j^i при каждом i -м состоянии систем подачи и распределения воды

Table 1. Determination of partial indicators P_j^i for each i -th state of water supply and distribution systems

Узел j / участок i	$P_j^{\text{норм}}$	Участок			
		1–2	2–3	3–4	1–4
		λ^{01-2}	λ^{02-3}	λ^{03-4}	λ^{01-4}
1	$P_1^{\text{норм}}$	P_1^{1-2}	P_1^{2-3}	P_1^{3-4}	P_1^{1-4}
2	$P_2^{\text{норм}}$	P_2^{1-2}	P_2^{2-3}	P_2^{3-4}	P_2^{1-4}
3	$P_3^{\text{норм}}$	P_3^{1-2}	P_3^{2-3}	P_3^{3-4}	P_3^{1-4}
4	$P_4^{\text{норм}}$	P_4^{1-2}	P_4^{2-3}	P_4^{3-4}	P_4^{1-4}

По результатам сравнения частных показателей P_j^i при разных структурных состояни-

ях СПРВ с нормируемыми значениями делаются соответствующие выводы.

Возможные варианты мероприятий по повышению надежности снабжения водой потребителей:

1. Если у потребителя даже в таких условиях $P_j^0 < P_j$ (норм), перекладка стареющих участков на новые с таким же диаметром не обеспечит в полной мере качественное снабжение потребителя. Требуется проведение мероприятий по увеличению пропускной способности основных, резервных линий (параллельная прокладка участка, замена участка с увеличением диаметра), повышение напора до $P_j^0 \geq P_j$ (норм).

2. Если же сопоставление расчетных показателей K_j , P_j , определенных при минимальных значениях $\lambda = \lambda_0$, с нормируемыми значениями показало $P_j^0 \geq P_j$ (норм), а при фактических значениях λ $P_j < P_j$ (норм), следует расставить приоритеты по замене изношенных участков с такими же диаметрами.

При существенном превышении расчетных показателей K_j над нормируемым $K_j > K_j$ (норм) и пониженными показателями P_j – $P_j < P_j$ (норм)

наиболее привлекательным вариантом может быть устройство дополнительных перемычек. При большой протяженности участков, малом количестве перемычек, повышение напора может не дать желаемого результата, но приведет к большому объему энергетических затрат (затрат на электроэнергию).

3. Если расчетные показатели K_j ниже нормируемых $K_j < K_j$ (норм), $P_j^0 \geq P_j$ (норм), $P_j < P_j$ (норм) повышение напора в СПРВ может быть действенной мерой. Возможных вариантов решения поставленной задачи по обеспечению заданного уровня надежности снабжения потребителей существует большое количество: от отдельных мероприятий до их совместных комбинаций.

Каждое решение может придать системе как изменение в качестве ее работы, так и ее стоимостной составляющей – капитальные и эксплуатационные затраты. Так или иначе, по итогам моделирования возможных мероприятий и их комбинаций должно производиться технико-экономическое сравнение [3, 13]:

$$3(R) = (E + f_c) \cdot K + C^{\circ} \cdot \Xi, \text{ при } R_j \geq R_j \text{ (норм)}, R_j \text{ (норм)} = (K_j \text{ (норм)}, P_j \text{ (норм)}),$$

где K – капиталовложения, тыс. руб.; f_c – доля на амортизацию СПРВ; E – коэффициент эффективности капиталовложений; $C^{\circ} \cdot \Xi$ – эксплуатационные издержки, тыс. руб. По ре-

зультатам сравнения принимается вариант с обеспечением заданного уровня надежности снабжения потребителей при наименьших приведенных затратах $3(R)$ (тыс. руб.):

$$\min(3(R) + E(R)), \text{ при } R_j \geq R_j \text{ (норм)}, R_j \text{ (норм)} = (K_j \text{ (норм)}, P_j \text{ (норм)}).$$

Определив при $\lambda = \lambda_0$ каждого участка наиболее оптимальный вариант работы СПРВ, утверждается комплекс приоритетных мероприятий: перекладка участков с таким же диаметром, укладка труб с повышенным диаметром, параллельная прокладка, создание

дополнительных перемычек, повышение напора, совместная комбинация указанных мероприятий. Приведен пример. Рассмотрена СПРВ кольцевой структуры, состоящей из 6 узлов и 7 участков, рис. 3. Отборы воды каждым узлом представлены на рис. 4.

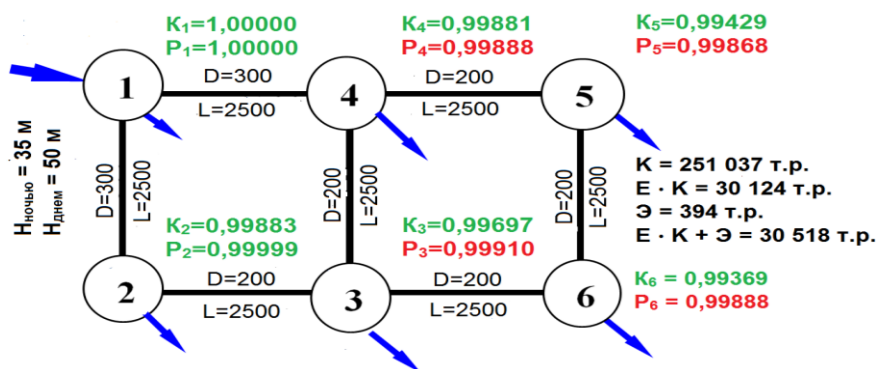


Рис. 3. Кольцевая схема систем подачи и распределения воды (до проведения мероприятий) – исходный

Fig. 3. Ring diagram of water supply and distribution systems (before the events) – source

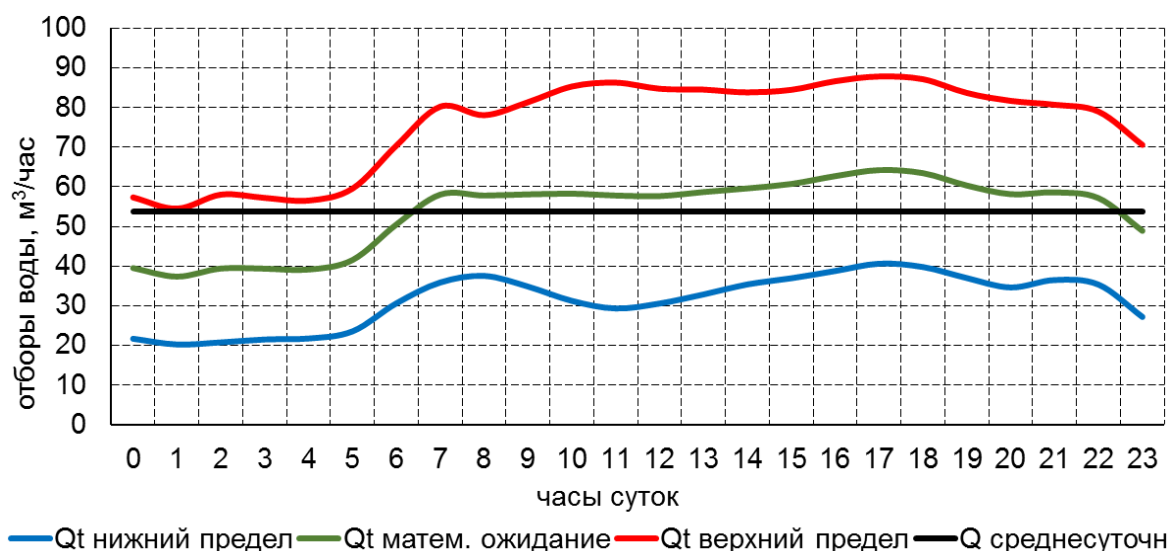


Рис. 4. Диапазоны суточного изменения отборов воды одним узлом
Fig. 4. Ranges of daily changes in water withdrawals by one node

Суточное распределение напора воды, подаваемой в сеть представлено на рис. 5.

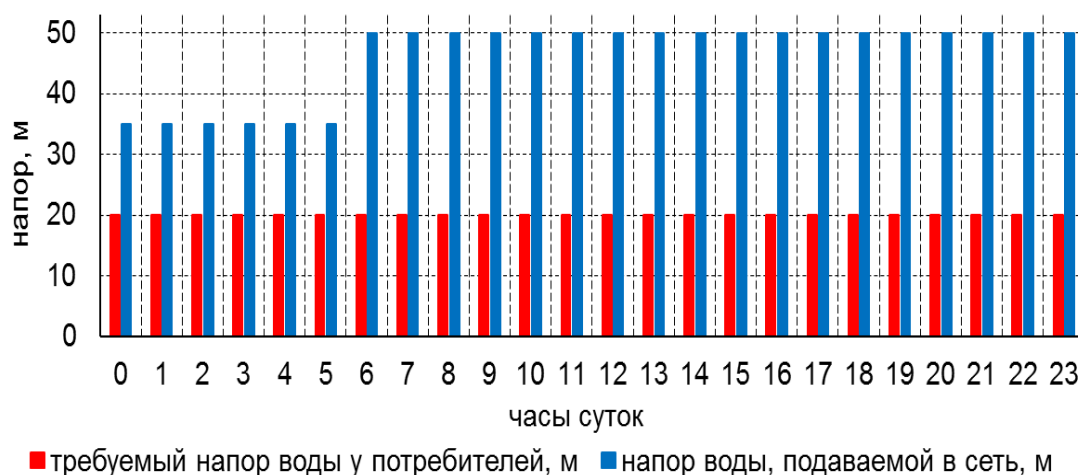


Рис. 5. Суточное распределение напора воды, подаваемой в систему подачи и распределения воды
Fig. 5. Daily distribution of water pressure supplied to the water supply and distribution system

Для определения вероятности нахождения СПРВ в безаварийном и аварийных состояниях при ординарном потоке отказов принят ряд допущений: материал трубопровода – сталь, период эксплуатации – нормальной, согласно [17–19] интенсивность отказов трубопровода, соответствующая периоду нормальной эксплуатации, $1/(км \cdot год)$, $\lambda_i^0 = 0,064 \cdot D_i^{-0,8}$, где D_i – диаметр участка i , м; время восстановления участка i – $T_{\text{вос}} = 24$ часа; $\mu_{\text{ос}} = 8760 / 24 = 365$ (1/год). Проведено моделирование аварийных отключений участков СПРВ, формирование обобщенных показателей надежности снабжения потребителей K_j и P_j .

Результаты указаны графически на рис. 3

(зеленым цветом выделены расчетные показатели надежности, соответствующие нормируемым значениям $K_j \geq K_j(\text{норм})$, $K_j(\text{норм}) = 0,99178$, $P_j \geq P_j(\text{норм})$, $P_j(\text{норм}) = 0,99998$, красным цветом – расчетные показатели ниже нормируемых значений $P_j < P_j(\text{норм})$).

Сформированные показатели при сопоставлении с нормируемыми значениями указывают на проблемы водоснабжения узлов 3–6. Оценка влияния каждого i – го участка на качество функционирования системы. Результаты определения частных показателей, рассчитываемых по предлагаемой методике представлено в табл. 2.

Таблица 2. Определение частных показателей P_j^i при каждом i -ом состоянии систем подачи и распределения воды

Table 2. Determination of partial indicators P_j^i for each i -th state of water supply and distribution systems

Участок i / узел j	P_j^i норм	Отключение участков i							Режим без аварий
		1-2	2-3	1-4	4-3	4-5	3-6	5-6	
ϕ , мм		300	200	300	200	200	200	200	
L_i , м		2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	
$\lambda_{0,i}$ 1/(км·год)		0,16768	0,23193	0,16768	0,23193	0,23193	0,23193	0,23193	
$\lambda_{i,j}$ 1/(км·год)		0,16768	0,23193	0,16768	0,23193	0,23193	0,23193	0,23193	
$\lambda_{i,j} \cdot L_i$ 1/год		0,41920	0,57982	0,41920	0,57982	0,57982	0,57982	0,57982	
1	0,99998	1	1	1	1	1	1	1	1
2	0,99998	0,98940	1	1	1	1	1	1	1
3	0,99998	1	1	0,45246	1	1	1	1	1
4	0,99998	1	1	0,37309	1	1	1	1	1
5	0,99998	1	1	0,37096	1	0,88415	1	1	1
6	0,99998	1	1	0,37309	1	1	1	1	1

Частные показатели надежности P_j^i уточняют особо низкое качество снабжения удаленных узлов-потребителей при отключении участка 1–4. Обстоятельство объясняется отсутствием достаточной пропускной способности резервной линии 2–3. Участок не может пропустить в минимально допустимых (аварийных) пределах объема воды для обеспечения указанных потребителей.

Составлен комплекс возможных мероприятий, обозначим их м-1, м-2, м-3, м-4, м-5.

На рис. 6 представлена схема СПРВ с увеличением диаметра участка 2-3 с 200 мм до 300 мм (м-1).

Согласно схеме (рис. 6) можно наблюдать,

что качество снабжения водой узлов-потребителей 3, 4 существенно улучшилось, их показатели надежности находятся в пределах нормируемых значений. Качество снабжения узлов 5, 6 также улучшилось, но вероятность возникновения отказа еще достаточно высока. При снижении диаметра участка 5–6 с 200 мм до 150 мм общая стоимость капиталовложений в сеть изменится незначительно.

На рис. 7 представлена дополнительно замена участка 3–4 с 200 мм до 250 мм (м-2).

Незначительно улучшается качество удаленных узлов-потребителей 5, 6 с увеличением при этом объема капиталовложений в систему.

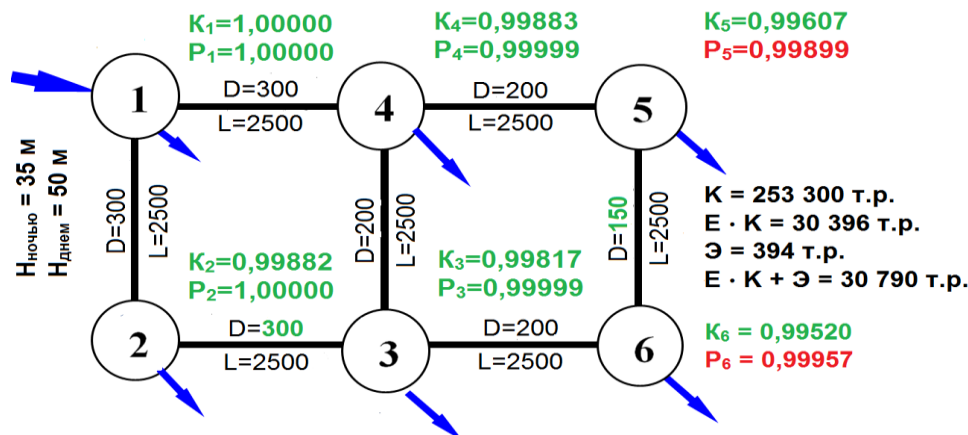


Рис. 6. Кольцевая схема систем подачи и распределения воды (с заменой диаметра участка 2-3 с 200 мм до 300 мм) – м-1

Fig. 6. Ring diagram of water supply and distribution systems

(with the replacement of the diameter of the section 2-3 from 200 mm to 300 mm) – m-1

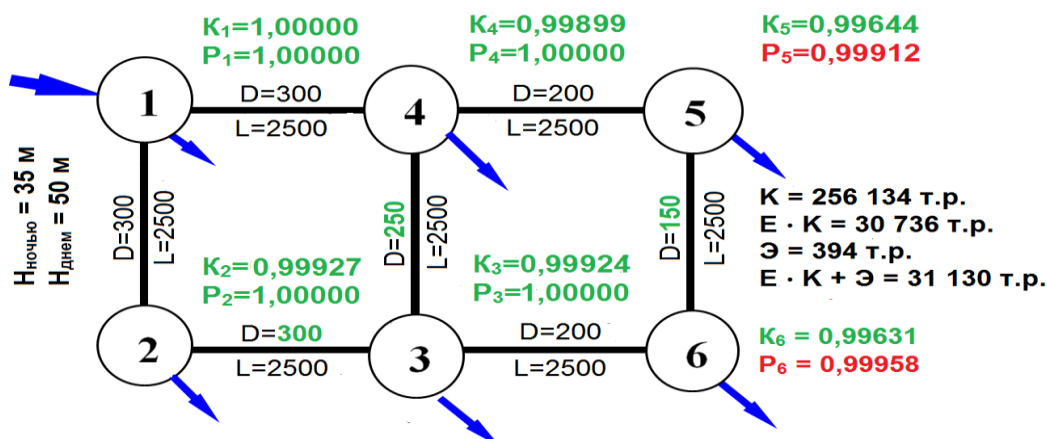


Рис. 7. Кольцевая схема систем подачи и распределения воды (с заменой диаметра участка 2-3 с 200 мм до 300 мм, с заменой диаметра участка 3-4 с 200 мм до 250 мм) – м-2

Fig. 7. Ring diagram of water supply and distribution systems (with the replacement of the diameter of the section 2-3 from 200 mm to 300 mm, with the replacement of the diameter of the section 3-4 from 200 mm to 250 mm) – m-2

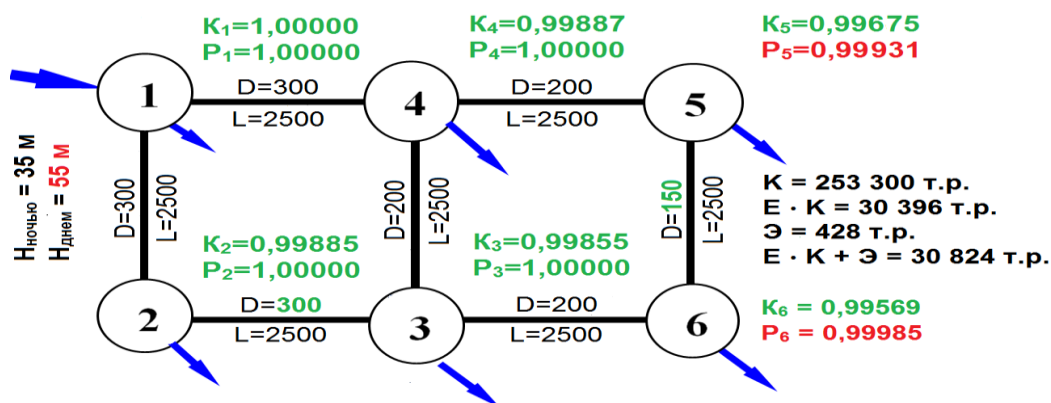


Рис. 8. Кольцевая схема систем подачи и распределения воды (с заменой диаметра участка 2-3 с 200 мм до 300 мм, увеличением напора в дневное время с 50 до 55 м) – м-3

Fig. 8. Ring diagram of water supply and distribution systems (with the replacement of the section 2-3 from 200 mm to 300 mm, increasing the pressure in the daytime from 50 to 55 m) – m-3

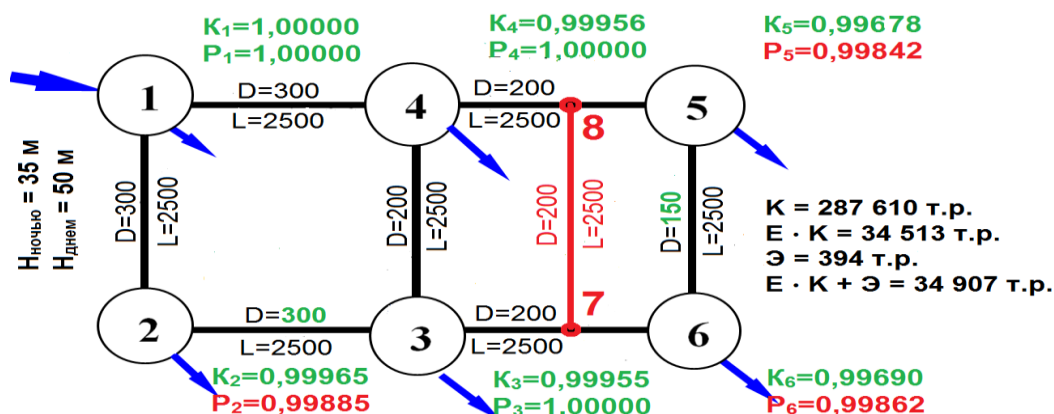
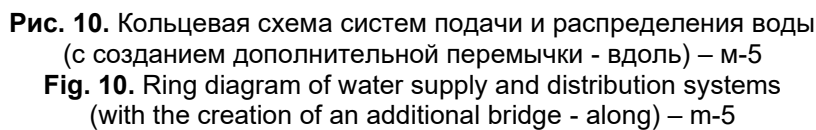


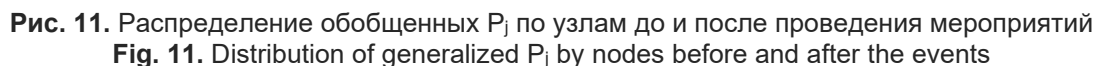
Рис. 9. Кольцевая схема систем подачи и распределения воды (с созданием дополнительной перемычки - поперек) – м-4

Fig. 9. Ring diagram of water supply and distribution systems (with the creation of an additional bridge - across) – m-4



Устройство перемычек вдоль или поперек в данном случае (*м-4, м-5*) не улучшают качество снабжения потребителей, существенно увеличивая при этом объем капиталовложений в сеть. На рис. 11 показано сравнение расчетных показателей – вероятностей безотказного снабжения потребителей P_i при возможных вариантах мероприятий (*исходный вариант, м-1, м-2, м-3, м-4, м-5*).

Уровень надежности функционирования СПРВ мероприятия (м-3), согласно рис. 12, соответствует не самым высоким затратам. Именно комплексное мероприятие: повышение пропускной способности участка 2–3 с увеличением в дневное время напора – в данном случае будет оптимальным вариантом, приоритетным направлением.



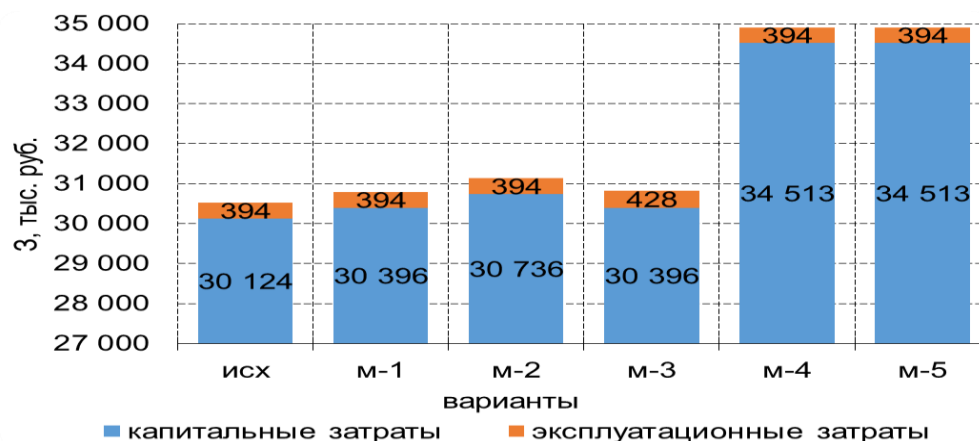


Рис. 12. Распределение приведенных затрат по рассматриваемым вариантам
Fig. 12. Distribution of the reduced costs according to the options under consideration

ВЫВОДЫ

1. Если при моделировании работы системы расчетные показатели надежности водоснабжения потребителей показали результат ниже нормируемых значений, стоит рассчитать эти показатели на период нормальной эксплуатации каждого участка ($\lambda_i = \lambda_i^0$). Если расчетные показатели останутся также ниже нормируемых, системе требуется кардинальное внесение изменений по увеличению пропускной способности, повышению напора.

2. Приоритетные направления по обеспечению заданного уровня надежности снабжения потребителей должны рассматриваться комплексно: с учетом изношенности сетей (λ_i – интенсивностей отказов участка i , ед./(кол-во км в год)) и оптимального варианта работы системы в период нормальной эксплуатации каждого участка ($\lambda_i = \lambda_i^0$). Необходимо учитывать риски нанесения ущерба от подтопления в случае аварии, их возможные последствия, риски возмещения ущерба от некачественного оказания услуг.

3. Очевидно, приоритетным направлением в основной массе будет являться вариант, где требуется перекладка изношенного участка с увеличением пропускной способности (увеличением диаметра).

4. Каждая сеть по-своему уникальна, поэтому не может быть универсальных реше-

ний. Можно придерживаться рекомендаций методик, но они не всегда дают оптимальный результат.

Целесообразно рассматривать разные варианты решений, а окончательное принимать на основе технико-экономического сравнения.

Придерживаясь указанных выводов, легче разработать адекватные эффективные мероприятия по устранению проблем некачественного функционирования СПРВ.

Разработанная методика с применением вышеуказанного математического аппарата – программы для ЭВМ – позволит повысить гибкость эксплуатируемых СПРВ, обеспечить и поддерживать на должном уровне ее надежную и эффективную работу.

Использование методики определения частных показателей надежности может найти применение в оперативно-диспетчерских службах коммунальных предприятий.

Именно моделирование работы системы под каждое ее структурное состояние позволит этим службам эффективнее выполнять свою работу: плано-предупредительные ремонты на сетях и других обслуживаемых объектах, при проведении аварийно-восстановительных работ предупреждать потребителей о возможных перебоях в подаче воды, исходя из оперативной обстановки, принимать взвешенные решения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Душин А. С., Чупин Р. В., Майзель И. В. Комплексное моделирование случайных процессов водопотребления и возникновения аварийных ситуаций в водопроводных сетях // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2012. № 2 (3). С. 76–83.
2. Чупин Р. В., Душин А. С., Чупин Р. В. Модели-

рование процессов водопотребления и возникновения аварийных ситуаций в системах подачи и распределения воды // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2012. № 10 (69). С. 130–136.

3. Игнатчик С. Ю. Расчет надежности, безопасности и инвестиционной эффективности сети

водоснабжения // Водоснабжение и санитарная техника. 2011. № 12. С. 57–67.

4. Абрамов Н. Н. Надежность систем водоснабжения. М.: Стройиздат, 1979. 232 с.

5. Венцель Е. С. Теория вероятностей. М.: Высш. шк., 2001. 575 с.

6. Карамбилов С. Н. Математическое моделирование систем подачи и распределения воды в условиях многорежимности и неопределенности: монография. М.: Московский государственный университет печати, 2004. 197 с.

7. Карамбилов С. Н., Буркова Ю. Г. Анализ и синтез сложных инженерных систем с применением современных математических методов: монография. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2015. 193 с.

8. Карамбилов С. Н., Мордясов М. А., Буркова Ю. Г. Применение кластерного анализа и нейронных сетей для анализа качества функционирования инженерных сетей в штатных и послеаварийных условиях // Природообустройство. 2014. № 3. С. 63–66.

9. Чупин Р. В., Душин А. С. Оценка надежности обеспечения потребителей водой // Водоснабжение и санитарная техника. 2017. № 12. С. 35–44.

10. Чупин В. Р., Душин А. С. Оценка надежности обеспечения потребителей водой. Разработка показателей надежности водоснабжения потребителей // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2019. Т. 9. № 3 (30). С. 576–593. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-3-576-593>.

11. Чупин В. Р., Душин А. С. Оптимизация параметров новых и реконструируемых систем подачи и распределения воды с учетом бесперебойного водоснабжения потребителей // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2019. Т. 9. № 4 (31). С. 790–803.

<https://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-4-790-803>.

12. Найманов А. Я. Особенности оценки надежности кольцевой водопроводной сети // Водоснабжение и санитарная техника. 2006. № 12. С. 11–16.

13. Чупин В. Р., Малевская М. Б. Выработка рекомендаций по минимизации последствий от аварийных ситуаций в системах водоснабжения // Водоснабжение и санитарная техника. 1994. № 4. С. 8–9.

14. Чупин В. Р., Душин А. С. Оценка и повышение эксплуатационной надежности системы подачи и распределения воды в микрорайоне Иркутск-II г. Иркутска // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2021. Т. 11. № 1 (36). С. 112–125. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-1-112-125>.

15. Ильин Ю. А. Расчет надежности подачи воды. М.: Стройиздат, 1987. 320 с.

16. Митянин В. М. Исследование причин повреждений трубопроводов в городских системах водоснабжения // Водоснабжение и санитарная техника. 1979. № 2. С. 2–8.

17. Гальперин Е. М. Надежностные расчеты кольцевых водопроводных сетей // Водоснабжение и санитарная техника. 2003. № 8. С. 26–29.

18. Гальперин Е. М. Определение надежности функционирования кольцевой водопроводной сети // Водоснабжение и санитарная техника. 1989. № 6. С. 11–13.

19. Душин А. С. Выявление участков, не позволяющих обеспечить надежное функционирование системы подачи и распределения воды // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 3. С. 326–337. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-3-326-337>.

REFERENCES

1. Dushin A. S., Chupin R. V., Maizel I. V. Complex modeling of random water use processes and accidental situations in water-supply systems. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2012;2:76-83. (In Russ.).

2. Chupin V. R., Dushin A. S., Chupin R. V. Modeling water consumption and emergencies in water supply and distribution systems. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Proceedings of Irkutsk state technical university*. 2012;10:130-136. (In Russ.).

3. Ignatchik S. Yu. Estimation of reliability, safety and investment efficiency of a wastewater disposal system. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water supply and sanitary*. 2011;12:57-67. (In Russ.).

4. Abramov N. N. Reliability of water supply systems. Moscow: Stroizdat; 1979. 232 p. (In Russ.).

5. Vencel' E. S. Probability theory. Moscow: Vysshaya shkola; 2001. 575 p. (In Russ.).

6. Karambirov S. N. Mathematical modeling of water supply and distribution systems under conditions of multi-mode and uncertainty. Moscow: Moscow State University of Printing; 2004. 197 p. (In Russ.).

7. Karambirov S. N., Burkova Ju. G. Analysis and synthesis of complex engineering systems using modern mathematical methods. Moscow: Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 2015. 193 p.

8. Karambirov S. N., Mordyasov M. A., Burkova Yu. G. Usage of cluster analysis and neural networks for the analysis of the quality of engineering networks functioning under normal and postemergency states. *Prirodoobustroistvo*. 2014;3:63-66. (In Russ.).

9. Chupin R. V., Dushin A. S. Assessment of the customer water supply reliability. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water supply and sanitary technique*. 2017;12:35-44. (In Russ.).

10. Chupin V. R., Dushin A. S. Assessment of the reliability of water supply to consumers: water sup-

ply reliability indicators. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2019;9(3):578-593. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-3-578-593>.
11. Chupin V. R., Dushin A. S. Parameter optimisation for new and reconstructed systems of water supply and distribution for ensuring consumer's uninterrupted water supply. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2019;9(4):790-803. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-4-790-803>.
12. Naymanov A. Ya. Features of reliability evaluation of ring water supply system. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water supply and sanitary technique.* 2006;12:11-16. (In Russ.).
13. Chupin VR, Malevskaya MB. Development of recommendations to minimize the consequences of emergencies in water supply systems. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water supply and sanitary technique.* 1994;4:8-9. (In Russ.).
14. Chupin V. R., Dushin A. S. Assessment and improvement of the operational reliability of the water supply and distribution system in the Irkutsk-II microdistrict of the Irkutsk city. *Izvestiya vuzov. In-*

vestitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate. 2021;11(1):112-125. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-1-112-125>
15. Ilyin Yu. A. Calculation of water supply reliability. Moscow: Stroyizdat; 1987. 320 p. (In Russ.).
16. Mityanin V. M. Investigation of the causes of pipeline damage in urban water supply systems. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water supply and sanitary technique.* 1979;2:2-8. (In Russ.).
17. Galperin E. M. Reliability calculations for ring water supply systems. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water supply and sanitary technique.* 2003;8:26-29. (In Russ.).
18. Galperin E. M. Determination of the reliability of the functioning of the ring water supply network. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water supply and sanitary technique.* 1989;6:11-13. (In Russ.).
19. Dushin A. S. Identification of sections inhibiting the reliable operation of water supply and distribution systems. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2022;12(3):326-337. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-3-326-337>.

Информация об авторе

А. С. Душин,
инженер-строитель,
ООО «Сетевая компания «ИРКУТ»,
664020, г. Иркутск, ул. Авиастроителей, 28А,
Россия,
e-mail: a.s.dushin@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-7307-5167>

Information about the author

Aleksei S. Dushin,
Civil engineer,
LLC "Network company "IRKUT",
28A Aviastrouteley St., Irkutsk 664020,
Russia,
e-mail: a.s.dushin@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-7307-5167>

Вклад автора

Душин А. С. провел исследование, подготовил рукопись к печати и несет ответственность за плагиат.

Contribution of the author

Dushin A. S. has conducted the study, prepared the manuscript for publication and bears the 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.

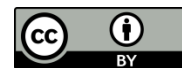
The final manuscript has been read and approved by the author.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 02.09.2022.
Одобрена после рецензирования 29.09.2022.
Принята к публикации 03.10.2022.

Information about the article

The article was submitted 02.09.2022.
Approved after reviewing 29.09.2022.
Accepted for publication 03.10.2022.

**Экономические, экологические и технические особенности проектирования автомобильных дорог в условиях линзовых (островных) мерзлот****Сергей Викторович Захаров¹, Валерий Петрович Лушпей²,
Алина Витальевна Ибрагимова³, Янь Вэйна⁴, Цзан Нань⁵**^{1,3,4,5}Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия²Дальневосточный федеральный университет, п. Аякс, о. Русский, г. Владивосток, РоссияАвтор, ответственный за переписку: Захаров Сергей Викторович, ynd@istu.edu

Аннотация. В статье рассматриваются особенности проектирования автомобильных дорог в условиях линзовых мерзлот. В ходе работы использовались экономико-математические расчеты, учитывался практический опыт возведения автомобильных дорог компаниями «Свайбур» и «Гидростройинжиниринг», длительное время занимающихся строительством и текущим ремонтом дорог. При выполнении экономико-математических расчетов цены на строительные материалы определялись исходя из укрупненных сметных нормативов для объектов капитального строительства непроизводственного назначения «Укрупненные нормативы цены строительства. НЦС 81-02-08-2017. Сборник № 08. Автомобильные дороги». Экологические требования основывались на методических рекомендациях, разработанных Федеральным агентством «Росавтодор». Затраты на содержание и реконструкцию обрушенного участка дороги в несколько раз могут превышать стоимость сметного строительства этого участка в комплексе, а также затруднять логистику и транспортную доступность сельскохозяйственных угодий. В некоторых случаях может быть нарушено экологическое равновесие прилегающих земель, поскольку при размывании автодороги в почву попадают вредные вещества, которые в обычных условиях удерживаются верхним и нижним строением дорог. Рассматриваются экономические и экологические проблемы проектирования автомобильных дорог, связывающих важные логистические центры в условиях линзовой и вечной мерзлоты. Представлены расчет удорожания строительства при укреплении дорог винтовыми сваями при размывании отдельных участков автодорог во время весенних паводков или сильных осадков, а также сравнительная характеристика вариантов удорожания строительства автодорог в условиях линзовой (островной) и вечной мерзлоты.

Ключевые слова: линзовая мерзлота, дороги, асфальтирование, винтовые сваи, дорожное строительство, вечная мерзлота, слабый грунт

Для цитирования: Захаров С. В., Лушпей В. П., Ибрагимова А. В., Янь Вэйна, Цзан Нань. Экономические, экологические и технические особенности проектирования автомобильных дорог в условиях линзовых (островных) мерзлот // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 4. С. 560–569. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-560-569>.

Original article**Economic, environmental and technical design characteristics of highways under permafrost (insular) conditions****Sergey V. Zakharov¹, Valery P. Lushpey²,
Alina V. Ibragimova³, Yan Weina⁴, Zang Nan⁵**^{1,3,4,5}Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia²Far Eastern Federal University, Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, RussiaCorresponding author: Sergey V. Zakharov, ynd@istu.edu

Abstract. This paper addresses the characteristics of road design under permafrost conditions. Economic and mathematical calculations were used along with practical experience of “Svaybur” and

"Gidrostoiengineering" companies, involved in road construction and maintenance for a long period. The prices for construction materials for economic and mathematical calculations were determined using the Integrated Construction Price Standards for Capital Construction Projects for Non-Production Uses. ICP 81-02-08-2017. Collection No. 08: Roads. The environmental requirements were based on the recommended practices developed by the Federal Agency "Rosavtodor". The cost of maintaining and reconstructing a damaged section of road can exceed by several times the estimated construction cost of the whole section, as well as hinder the logistics and transport accessibility of the agricultural land. In some cases, the environment of the surrounding land may be adversely affected, since harmful contaminants that under normal conditions are bound by the top and bottom structures of the road are released into the soil due to its erosion. The paper examines the economic and environmental problems of designing roads connecting important logistics centres under insular permafrost and permafrost conditions. Here, the calculation of construction costs for road reinforced using screw piles if necessary to prevent the erosion of some road sections during spring floods or heavy precipitation is presented, along with a comparative analysis of construction costs for roads under insular permafrost and permafrost conditions.

Keywords: lens permafrost, roads, asphaltting, screw piles, road construction, permafrost, weak soil

For citation: Zakharov S. V., Lushpey V. P., Ibragimova A. V., Yan Weina, Zang Nan. Economic, environmental and technical design characteristics of highways under permafrost (insular) conditions. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(4):560-569. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-560-569>.

ВВЕДЕНИЕ

Транспортная доступность удаленных объектов на различных территориях является сложным, неординарным и дорогостоящим социально-экономическим достижением. Даже в самых, с первого взгляда, несложных условиях рельефа автомобильная дорога должна отвечать множеству требований и характеристик: быть надежной и долговечной в эксплуатации, устойчивой к метеоусловиям, также доступной для обслуживания в любой сезон. Автомобильная дорога должна состоять из функционально связанных между собой конструктивных элементов и сооружений, специально спроектированных на длительный период времени для обеспечения безопасного движения транспортных средств с разрешенными скоростями, нагрузками и размерами. При этом дорога должна быть оснащена привлекающими участками для строительства инфраструктуры.

Разные исследователи в своих работах использовали различные подходы для решения задач строительства автодорог в трудных условиях [1]. Эти исследования, в основном, касаются использования современных морозостойких материалов для строительства [2, 3], высокопрочных морозостойких бетонов с определенными «присадками» [4], полимерно-битумных вяжущих и горячей регенерации дорожных одежд [5, 6]. Некоторые вопросы деформации дорожных покрытий и загрязнения грунтов и водных пространств [7]

рассмотрены в работах авторов, непосредственно занимающихся вопросами экологии [8, 9]. Кроме того, важно не забывать, что при внедрении новых технологий в строительстве автодорог предприятия становятся на принципиально новый для себя путь развития [10, 11], соответственно, необходимо учитывать и особенности внедрения и реализации инновационных продуктов [12, 13].

На большей части территории РФ существуют зоны вечной мерзлоты и так называемые островные или линзовые мерзлоты (рис. 1). Островные или линзовые мерзлоты наблюдаются на территориях Иркутской области, в республиках Бурятия и Тыва, в Хабаровском, Камчатском, Красноярском краях и др.

Островная мерзлота отличается тем, что грунт имеет преимущественно плюсовую температуру, тем не менее в нем имеются отдельные области, так называемые «линзы», состоящие из мерзлых фракций. Размеры таких островов-линз в плане могут составлять сотни метров, а их толщина – от нескольких до сотен метров [14] (рис. 2).

МЕТОДЫ

В процессе исследования были использованы методы экономического анализа и синтеза, а также математического моделирования.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При строительстве автодорог в зонах линзовой (островной) мерзлоты возникает ряд

трудностей, которые, не будучи учтенными, могут привести с высокой вероятностью к нарушениям целостности и пространственной геометрии отдельных участков пути, и, следовательно, к авариям на дорогах.

Поэтому, строительная компания должна

выбрать, какой тип строительства будет использоваться на том или ином участке дороги. С точки зрения затрат, для более экономного варианта подходит традиционный вид строительства, так как покрытие на свайном основании отличается более высокими затратами.



Рис. 1. Вечная мерзлота в России (65% от общей площади территории страны)

Fig. 1. Permafrost in Russia (65% of the total area of the country)



Рис. 2. Участок линзовой мерзлоты (фото взято из свободного доступа сети Интернет)

Fig. 2. Area of lens permafrost (photo taken from free Internet access)

Однако следует учесть, что отдельные участки дорог, пролегающие по территории линзовой мерзлоты, как правило, подвержены деформациям ввиду периодического оттаивания самой линзы. Зачастую деформация дороги достигает такой степени, что не представляется возможным проезд на автомобильном транспорте.

Именно поэтому для обустройства отдельных участков дорог, соединяющих логистические центры снабжения города с удаленными территориями, предлагается использовать строительство дорог с использованием различных технико-экономических решений,

среди которых могут быть: укрепление автодороги свайным фундаментом, использование специализированных утепляющих дорожных одежд либо строительство дороги «в обход» вечномёрзлой линзы. Все же нецелесообразно использовать эти решения по всей длине автодороги, поскольку это приведет к значительному удорожанию строительства. Так, например, сваи необходимо устанавливаются только на участках с рыхлым (слабым), периодически оттаивающим грунтом как меру для укрепления части дороги. В табл. 1 представлены приблизительные цены на винтовые сваи.

Таблица 1. Цена на винтовые сваи СВСН (за 1 ед.)

Table 2. Price for screw piles SVSN (for 1 unit)

Наименование	Длина, м	Цена сваи, руб.	Цена ручного монтажа, руб.	Свая+ оголовки+ монтаж, руб.	Стоимость с учетом индексации (15%), руб.
СВСН-57/200/1500	1,5	1 090	730	2 050	2357,5
СВСН-57/200/2000	2,0 м	1 280 руб.	770 руб.	2 280	2622 руб.
СВСН-57/200/2500	2,5 м	1 480 руб.	910 руб.	2 620 руб.	3013 руб.
СВСН-57/200/3000	3,0 м	1 660 руб.	900 руб.	2 790 руб.	3208,5 руб.
СВСН-57/200/3500	3,5 м	1 850 руб.	890 руб.	2 970 руб.	3415,5 руб.
СВСН-57/200/4000	4,0 м	2 050 руб.	930 руб.	3 210 руб.	3691,5 руб.
СВСН-57/200/4500	4,5 м	2 310 руб.	970 руб.	3 510 руб.	4036,5 руб.
СВСН-57/200/5000	5,0 м	2 450 руб.	1 060 руб.	3 740 руб.	4301 руб.
СВСН-57/200/5500	5,5 м	2 710 руб.	1 260 руб.	4 200 руб.	4830 руб.
СВСН-57/200/6000	6,0 м	2 950 руб.	1 350 руб.	4 530 руб.	5209,5 руб.

На сайте Гидрострой Инженеринг¹ представлено описание процесса установки свай. В некоторых случаях сваи могут устанавливаться в 3–6 рядов в зависимости от состояния почвы.

В методических рекомендациях² по охране окружающей среды при строительстве, ремонте и содержании автомобильных дорог предусмотрен ряд определенных требований к экологизации строительства дорог:

- рекультивация нарушенных земель;
- защита полосы отвода автомобильных дорог от зарастания деревьями, кустарниками и сорными растениями;
- ликвидация последствий загрязнения и захламления земель;
- охрана атмосферного воздуха, водных ресурсов и др.

Традиционное асфальтирование при использовании от 1 до 6 слоев в зависимости от типа может иметь следующие виды:

1. Простое асфальтирование (слой мелкозернистого асфальта – 5 см).

2. Асфальтирование в 2 слоя (слой крупнозернистого асфальта – 7 см, слой мелкозернистого асфальта – 5 см).

3. Бюджетная конструкция (слой песка – 20 см, слой щебня – 15 см, слой мелкозернистого асфальта – 5 см).

4. Легковой стандарт (слой песка – 30 см, слой щебня – 20 см, слой мелкозернистого асфальта – 7 см).

5. Грузовой стандарт (слой песка – 40 см, слой щебня – 25 см, слой тощего бетона – 10 см, слой крупнозернистого асфальта – 7 см, слой мелкозернистого асфальта – 5 см).

6. Европейский стандарт (слой щебня – 5 см, слой армированного бетона – 15 см, слой крупнозернистого асфальта – 7 см, слой мелкозернистого асфальта – 6 см, слой щебеночно-мастичного асфальта – 5 см).

Для строительства дорог вне населенных

¹Свайная система насыпи [Электронный ресурс] // Гидрострой Инжиниринг. URL: <https://gse39.ru/technologies/svaynaya-sistema-nasypi/> (02.08.2022).

²Методические рекомендации по охране окружающей среды при строительстве, ремонте и содержании автомобильных дорог // Kodeks.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200101040> (02.08.2022).

пунктов, на территориях, прилегающих к землям сельскохозяйственного назначения, используются, как правило, грузовой и европейский стандарты.

Иркутская область относится к дорожно-климатической зоне I категории. В табл. 2 и 3 представлены цены на строительство участка дороги длиной 1 км с учетом условий данной категории.

Согласно укрупненным сметным нормативам³ для объектов капитального строительства непромышленного назначения в табл. 2 и 3 представлены цены на строительство 1 км автомагистрали. Предположим, что необ-

ходимо построить 4-полосную автомагистраль длиной 1 км с учетом наличия винтовых свай (длиной 6 м) на протяжении всего участка.

Минимальное количество рядов винтовых свай по ширине дороге – 3 ед., устанавливающиеся каждые 2 м на протяжении 1 км. Из этого следует, что стоимость строительства 1 км = $1000 \text{ м} / 2 \text{ м} * 3 \text{ ряда} * 4 \text{ 530 руб/ед} + 124 \text{ 303 810} = 131 \text{ 098 810 руб.}$ С учетом текущего удорожания стоимости и установки свай (на 15%) стоимость строительства 1 км = $1000 \text{ м} / 2 \text{ м} * 3 \text{ ряда} * 5 \text{ 209,5 руб/ед} + 124 \text{ 303 810} = 132 \text{ 118 060 руб.}$

Результаты расчетов приведены в табл. 4.

Таблица 2. Автомагистраль, категория IA, дорожная одежда капитального типа с асфальтобетонным покрытием (измеритель: 1 км)

Table 2. Motorway, category IA, permanent pavement with asphalt concrete pavement (meter: 1 km)

Код	Количество полос	Стоимость
08-01-001-01	4 полосная	124303,81
08-01-001-02	6 полосная	152920,65
08-01-001-03	8 полосная	181584,47

Таблица 3. Автомагистраль, категория IA, дорожная одежда капитального типа с цементобетонным покрытием

Table 3. Highway, category IA, capital type pavement with cement concrete pavement

Код	Количество полос	Стоимость
08-01-001-01	4 полосная	113051,86
08-01-001-02	6 полосная	136923,05
08-01-001-03	8 полосная	160792,24

Таблица 4. Результаты расчета стоимости вариантов строительства автодорог (традиционный и на сваях)

Table 4. The results of the calculation of the cost of road construction options (traditional and on piles)

Вариант	Стоимость строительства 1 км участка дороги, руб.
1. Автомобильная дорога (4 полосы) IA категория (Иркутская область)	124 303 810
2. Автомобильная дорога (4 полосы) IA категория (Иркутская область) на винтовых сваях	132 118 060

Термоизолирующие прослойки из пеноплекса в конструкции дорожной одежды используются:

- как альтернатива устройству традиционных морозозащитных слоев для снижения деформаций пучения при промерзании конструкции, в которой в пределах глубины промерзания имеются пучинистые грунты;
- как альтернатива устройству повышен-

ных насыпей или устройству термоизоляции из торфа в зоне вечной мерзлоты, обеспечивающих реализацию I-го принципа проектирования – сохранения вечномерзлого грунта в основании (или теле) насыпи с исключением просадок полотна при оттаивании его основания (или ее мерзлой части)⁴.

Первое направление использования термоизолирующей прослойки может быть

³Асфальтирование дорог от 200 м² // Асфальт-трейд [Электронный ресурс]. URL: <https://asfalt.trade/nashi-uslugi/asfaltirovanie/asfaltirovanie-dorog/> (02.08.2022);

НЦС 81-02-08-2017 Укрупненные нормативы цены строительства. Сборник № 08. Автомобильные дороги. Техническая часть // Kodeks.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456079978> (02.08.2022)

⁴Методические рекомендации по проектированию и устройству теплоизоляционных слоев дорожной одежды из пенополистирольных плит «Пеноплэкс» // Kodeks.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200040072> (02.08.2022).

реализовано на дорогах общей сети и ведомственных дорогах в любой дорожно-климатической зоне при наличии сезонного промерзания-оттаивания грунтов с повышенной пучинистостью.

Второе направление может быть реализовано на дорогах общей сети и ведомственных дорогах только в зоне вечной мерзлоты или в случае специальных проектных решений, рассчитанных на особые условия строительства и эксплуатации дороги (временные дороги, спецдороги и т.п.).

Эффект от применения теплоизолирующего слоя, используемого для снижения морозного пучения, может быть получен за счет

- уменьшения объема качественных материалов, используемых в дорожной одежде для обеспечения ее морозоустойчивости;
- использования в верхней части земляного полотна местных пучинистых грунтов (без их замены);
- повышения долговечности конструкции вследствие исключения периодически возникающих деформаций морозного пучения;
- возможности понижения рабочих отметок насыпей на участках, где при традиционных конструкциях действуют ограничения СП 34.13330.2012⁵ по минимальному возвышению насыпи над уровнем подземных или поверхностных вод, а также над уровнем земли;
- понижения расчетной влажности грунта земляного полотна и соответствующего повышения расчетных значений прочностных характеристик грунта за счет снижения влагонакопления при процессе морозного пучения;
- снижения требуемой толщины дренажного слоя за счет исключения поступления воды снизу при оттаивании земляного полотна⁴.

Эффект от применения теплоизолирующего слоя для предотвращения оттаивания грун-

та, используемого в конструкции в мерзлом состоянии в зоне вечной мерзлоты, может быть получен за счет следующих факторов:

- уменьшение объемов привозных грунтов при сооружении земляного полотна по I-му принципу (сохранение мерзлого грунта);
- обеспечение возможности использования в земляном полотне грунтов с любой степенью увлажнения в виде мерзло-комковатого материала;
- обеспечение возможности уменьшения рабочих отметок насыпей, сооружаемых по I-му принципу в зоне вечной мерзлоты с соответствующим уменьшением объемов земляных работ;
- исключение необходимости замены грунта в основании дорожной одежды в выемке;
- повышение надежности и долговечности дорожной конструкции, запроектированной по I-му принципу;
- сокращение затрат на уплотнение грунтов при сооружении насыпей;
- снижение экологического ущерба при строительстве дорог в северных районах⁴.

Средняя рыночная стоимость дополнительной укладки слоя из пеноплекса на 100 м² автодороги – 193 951,64 руб. (включает в себя стоимость материалов и работ по укладке).

Так, например, для двухполосных нескоростных дорог второй и третьей категории установлена ширина 3,5 м (большинство дорог в Иркутской области, немагистрального типа).

Таким образом, удорожание строительства 1 км дороги с дополнительной прослойкой из пеноплекса составит 6 788 307 руб. Ниже приведены данные стоимости строительства 1 км автодорог в зависимости от категории с учетом дополнительной укладки слоя из пеноплекса и без него (табл. 5) и от варианта (табл. 6).

Таблица 5. Стоимость строительства 1 км полосы в зависимости от категории дороги
Table 5. The cost of building 1 km. lanes depending on the category of road

Категория дороги	Средняя стоимость строительства 1 км 1 полосы движения в зависимости от категории автомобильной дороги, млн руб.	Средняя стоимость строительства 1 км 1 полосы движения в зависимости от категории автомобильной дороги с учетом дополнительной укладки слоя из пеноплекса, млн руб.
I	39,1	45,89
II	38,6	45,39
III	17,2	23,99
IV	15,4	22,19
V	12,4	19,19

⁵СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85 // Kodeks.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095524> (02.08.2022).

Строительство дороги в обход вечномёрзлых линзовых грунтовых образований (рис. 3).

При устройстве автомобильной дороги «в обход» вечномёрзлых линзовых грунтовых образований дополнительное утепление дорожных одежд не требуется, однако в этом случае происходит «удорожание» – увеличение сметной стоимости строительства в зависимости от радиуса линзы. Расчет строится на основании принятия следующей модели:

1. Вечномёрзлая линза имеет округлую форму, приближенную к геометрическому кругу в проекции «вид сверху»;

2. Дорога строится по касательной к вечномёрзлой линзе и «обходит ее по краю»;

3. Увеличение протяженности дороги может быть рассчитано простым геометрическим способом исходя из радиуса вечномёрзлой линзы, например, по формуле Гюйгенса:

$$L \approx 2AB + \frac{1}{3}(2AB - AC).$$

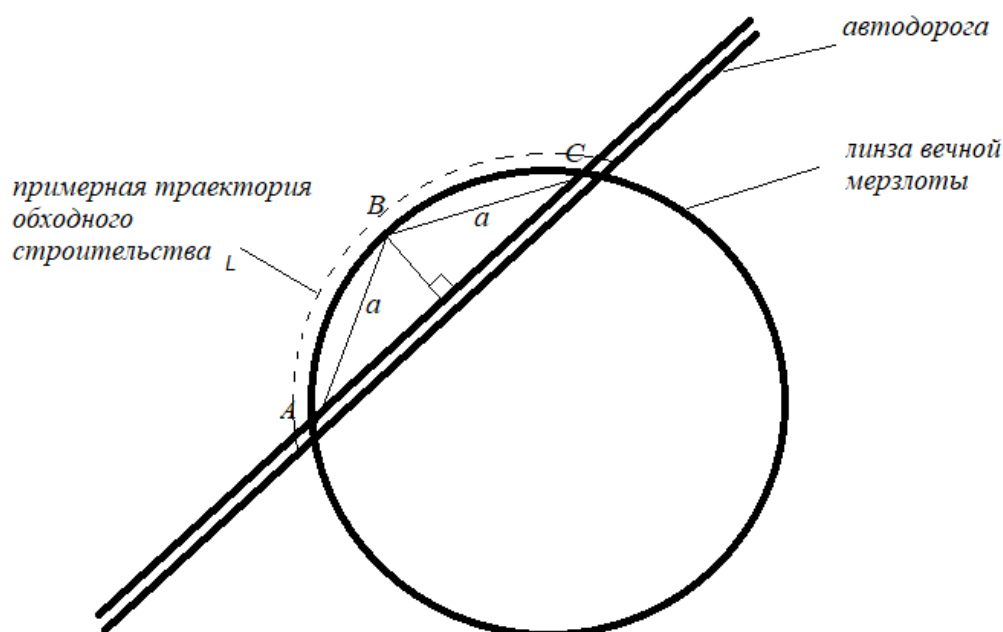


Рис. 3. Схема строительства дороги в обход вечномёрзлых линзовых грунтовых образований

Fig. 3. Scheme of road construction bypassing permafrost lens soil formations

Таблица 5. Анализ «удорожания» строительства в зависимости от варианта

Table 5. Analysis of the "rise in the cost" of construction, depending on the option

	Базовый вариант строительства	Строительство дорог на сваях	Обход вечномёрзлых линзовых грунтовых образований (из расчета диаметра линзы – 1 км)	С дополнительным устройством защитного слоя из пеноплекса
Абсолютная стоимость строительства 1 км дороги, 1 полосы, млн руб.	39,1	46,914	61,387	45,89
Удорожание в абсолютном значении, млн руб.	–	7,814	22,287	6,79
Удорожание	–	+	+++	+

*«+» – > 10%; «++» – > 20%; «+++» – > 30%.

Если же строящаяся автодорога упирается в линзу строго по ее диаметру, то обходная длина составит

$$L = \pi R.$$

Так, при обходе стандартной округлой вечномёрзлой линзы, диаметром 1 км, увеличение длины дороги составит

$$L \approx 3.14 \cdot 0.5 \approx 1.57 \text{ км.}$$

Из этого следует, что удлинение дороги составит примерно 57%.

По абсолютной стоимости для категории I это удорожание составит 22,287 млн руб.

ВЫВОДЫ

Из проведенных расчетов видно, что использование винтовых свай приведет к значительному удорожанию строительства автомобильных дорог. Однако использование такой

технологии никоим образом не повлияет на экологичность строительства дорог, кроме того, повысится безопасность эксплуатации. Таким образом, предпочтение следует уделить традиционному асфальтированию, а винтовые сваи использовать только на определенных участках дороги со слабым грунтом, который подвержен деформациям в период частичного оттаивания линзы.

Исходя из этого можно сделать вывод, что в настоящее время наиболее недорогим способом устройства автодороги в условиях вечной и линзовой мерзлоты является дополнительное устройство защитного слоя из теплоизолирующего материала. Вопрос надежности вариантов строительства в данной статье не рассматривается, авторы надеются продолжить его изучение в следующих работах.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Balabanov V. B., Putsenko K. N., Epritskaya N. K. Research of frost resistance of heavy polymer concrete modified by silica fume // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 751. № 1. P. 012111. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/751/1/012111>.
2. Balabanov V. B., Naptuhaev A. V. Investigation on the content of petroleum products in the surface runoff from the road pavements // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 751. № 1. P. 012112. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/751/1/012112>.
3. Балабанов В. Б., Климовский И. А. Исследование различных составов полимерно-битумного вяжущего для строительства, реконструкции и ремонта автомобильных дорог Иркутской области // Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации автомобильных дорог в условиях региона: сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф. (г. Иркутск, 14 марта 2019 г.). Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2019. С. 39–46.
4. Ньят Тхюи З. Л., Епишкин Н. А., Балабанов В. Б., Барышок В. П. Высокопрочные и морозостойкие бетоны с применением технической серы // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2018. Т. 8. № 3 (26). С. 122–129. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2018-3-122-129>.
5. Балабанов В. Б., Щеглачев И. В. Горячая регенерация асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог // Молодежный вестник ИрГТУ. 2017. № 3. С. 8.
6. Балабанов В. Б., Бурлаков П. А., Угрюмова Д. А. Анализ причин и последствий возникновения трещин на асфальтобетонном покрытии // Молодежный вестник ИрГТУ. 2017. № 3. С. 7.
7. Шкабарня Н. Г., Агошков А. И., Шкабарня Г. Н. Оползневые процессы на территории Приморско-

- го края и методика их изучения // Современные технологии и развитие политехнического образования: сб. тр. Международной научной конференции (г. Владивосток, 19–23 сентября 2016 г.). Владивосток: Дальневосточный федеральный университет, 2016. С. 265–269.
8. Агошков А. И., Брусенцова Т. А., Гутник А. Н. Ресурсы углеводородов континентального шельфа и проблемы загрязнения окружающей среды при разливах нефти // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. № 12. С. 3–8.
9. Агошков А. И., Татарчевская А. В., Чернышов О. И. Некоторые вопросы политики в области охраны и безопасности труда на магистральных трубопроводах нефти и газа // Труды Дальневосточного государственного технического университета. 2008. № 148-2. С. 36–38.
10. Konyukhov V. Yu., Nechaev A. S., Kichkin A. A. Investment toolkit development for estimation of enterprises innovative activity efficiency // Актуальні проблеми економіки. 2014. Т. 162. № 12. С. 236–251.
11. Nechaev A., Antipin D., Antipina O. Financial and tax instruments for stimulation of enterprises innovative activity // Problems and Perspectives in Management. 2014. Т. 12. № 2. С. 173–180.
12. Nechaev A., Antipina O., Matveeva M., Prokopenko A. Offshore schemes as an effective tax planning tool of enterprises' innovative activities // Економічний часопис-XXI. 2015. № 7-8-2. С. 40–43.
13. Nechaev A. S., Antipin D. A. Mechanism for assessing the efficiency of financing the enterprise innovative activities // Актуальні проблеми економіки. 2014. Т. 154. № 4. С. 233–237.
14. Гласко А. В., Калмыков А. М., Сидняев Н. И., Спиридонов П. В. Прогнозирование температурного режима грунтов оснований зданий и соору-

REFERENCES

1. Balabanov V. B., Putsenko K. N., Epritskaya N. K. Research of frost resistance of heavy polymer concrete modified by silica fume. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 751. No. 1. p. 012111. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/751/1/012111>.
2. Balabanov V. B., Haptuhaev A. V. Investigation on the content of petroleum products in the surface runoff from the road pavements. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 751. No. 1. p. 012112. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/751/1/012112>.
3. Balabanov V. B., Klimovskii I. A. Research of various compositions of polymer-bitumen binder for construction, reconstruction and repair of highways of the Irkutsk region. In: *Sovremennye problemy proektirovaniya, stroitel'stva i ekspluatatsii avtomobil'nykh dorog v usloviyakh regiona: sbornik trudov Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Modern problems of design, construction and operation of highways in the conditions of the region: proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. 14 March 2019, Irkutsk. Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University; 2019. p. 39-46. (In Russ.).
4. Nhat Thuy Giang Le, Epishkin N.A., Balabanov V.B., Baryshok V.P. Technical sulphur in high-strength and frost-resistant concrete. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2018;8(3):122-129. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2018-3-122-129>.
5. Balabanov V. B., Shcheglachev I. V. Hot regeneration of asphalt concrete road surfaces. *Molodezhnyi vestnik IrGTU = ISTU bulletin of Youth*. 2017;3:8. (In Russ.).
6. Balabanov V. B., Burlakov P. A., Ugryumova D. A. Analysis of the causes and consequences of cracking on asphalt concrete pavement. *Molodezhnyi vestnik IrGTU = ISTU bulletin of Youth*. 2017;3:7. (In Russ.).
7. Shkabarnya N. G., Agoshkov A. I., Shkabarnya G. N. Landslide processes on the territory of Primorsky Krai and methods of their study. In: *Sovremennye tekhnologii i razvitie politekhnicheskogo obrazovaniya: sbornik trudov Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii = Modern Technologies and development of Polytechnic education: proceedings of the International scientific conference*. 19-23 September 2016, Vladivostok. Vladivostok: Far Eastern Federal University; 2016. p. 265-269.
8. Agoshkov A. I., Brusentsova T. A., Gutnik A. N. Hydrocarbon resources of the continental shelf and environmental pollution problems in oil spills. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2012;12:3-8. (In Russ.).
9. Agoshkov A. I., Tatarchevskaya A. V., Chernyshov O. I. Some policy issues in the field of occupational safety and health on oil and gas trunk pipelines. *Trudy Dal'nevostochnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2008;148-2:36-38. (In Russ.).
10. Konyukhov V. Yu., Nechaev A. S., Kichkin A. A. Investment toolkit development for estimation of enterprises innovative activity efficiency. *Aktual'ni problemi ekonomiki = Actual problems of economics*. 2014;162(12):236-251.
11. Nechaev A., Antipin D., Antipina O. Financial and tax instruments for stimulation of enterprises innovative activity. *Problems and Perspectives in Management*. 2014;12(2):173-180.
12. Nechaev A., Antipina O., Matveeva M., Prokopenko A. Offshore schemes as an effective tax planning tool of enterprises' innovative activities. *Ekonomichnii chasopis-XXI*. 2015;7-8-2:40-43.
13. Nechaev A. S., Antipin D. A. Mechanism for assessing the efficiency of financing the enterprise innovative activities. *Aktual'ni problemi ekonomiki = Actual Problems of Economics*. 2014;154(4):233-237.
14. Glasko A. V., Kalmykov A. M., Sidnyaev N. I., Spiridonov P. V. Soil temperature regime prediction for building bases and construction groundwork under conditions of lens frost. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. N. E. Bauman*. 2012;7:142-153. (In Russ.). <https://doi.org/10.18698/2308-6033-2012-7-310>.

Информация об авторах

С. В. Захаров,

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры экономики
и цифровых бизнес-технологий,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: ynd@istu.edu,
<https://orcid.org/0000-0002-8507-0352>

Information about the authors

Sergey V. Zakharov,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Economics and Digital Business Technologies,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: ynd@istu.edu,
<https://orcid.org/0000-0002-8507-0352>

В. П. Лушпей,

доктор технических наук, профессор,
профессор отделения нефтегазового
и горного дела,
Дальневосточный федеральный университет,
690922, г. Владивосток, о. Русский,
п. Аякс, 10, Россия,
e-mail: lvp-2012@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-7666-416X>

А. В. Ибрагимова,

магистрант,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, Россия, г. Иркутск,
ул. Лермонтова, 83,
e-mail: lanawhite@inbox.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-5527-3485>

Янь Вэйна,

аспирант,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
e-mail: yanveina@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-7332-0860>

Цзан Нань,

магистрант,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
e-mail: Czannan@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1603-1712>

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в
подготовку публикации и несут ответственность
за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

Авторы прочитали и одобрили окончательный
вариант рукописи.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 25.08.2022.
Одобрена после рецензирования 15.09.2022.
Принята к публикации 20.09.2022.

Valery P. Lushpey,

Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Professor of the Department of Oil and Gas
and Mining,
Far Eastern Federal University,
10 Ajax Bay, Russky Island,
Vladivostok, Russia,
e-mail: lvp-2012@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7666-416X>

Alina V. Ibragimova,

Master Degree Student,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,
Russia,
e-mail: lanawhite@inbox.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5527-3485>

Yan Weina,

Postgraduate Student,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: yanveina@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7332-0860>

Zang Nan,

Master Degree Student,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: Czannan@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1603-1712>

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

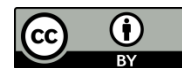
Conflict of interests

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

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

Information about the article

The article was submitted 25.08.2022.
Approved after reviewing 15.09.2022.
Accepted for publication 20.09.2022.

**Вероятностный анализ распределения пиковой интенсивности землетрясений на примере г. Иркутска****Данил Андреевич Кармазинов¹, Татьяна Львовна Дмитриева²**^{1,2}Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия
Автор, ответственный за переписку: Кармазинов Данил Андреевич, dkarmazinov@gmail.com

Аннотация. Цель заключается в прогнозировании вероятности землетрясений заданного уровня интенсивности. Актуальность этой проблемы отмечается для сейсмоопасной зоны юга Иркутской области с расчетной интенсивностью колебаний до 9 баллов, где расположены крупные населенные пункты с развитым промышленным и гражданским строительством. Проанализированы данные по сейсмической активности Прибайкалья и Забайкалья с 1973–2020 гг., на основании которых, с использованием уравнения макросейсмического поля, получены значения интенсивности колебаний в г. Иркутске. Алгоритм прогнозирования крупных и средних землетрясений основан на использовании аппарата математической статистики и теории вероятности. На основе выборки максимальных значений интенсивности колебаний для каждого года за указанный период было составлено соответствующее эмпирическое распределение. Рассматривается возможность применения часто встречающихся функций распределения применительно к описанию распределения интенсивности сейсмических колебаний. Выявлено, что наиболее точное отражение статистических данных дает функция нормального распределения. Сделан вывод о том, что, используя данную функцию, можно определить не только вероятность колебаний высокой интенсивности, которые могут повлечь за собой серьезные разрушения, но также и наиболее вероятную пиковую годовую интенсивность колебаний, что может стать предпосылкой к проведению мероприятий, связанных с повышением сопротивляемости несущих конструкций зданий и сооружений фоновым сейсмическим воздействиям.

Ключевые слова: сейсмическая активность, землетрясение, математическая статистика, теория вероятностей, критерий Пирсона

Для цитирования: Кармазинов Д. А., Дмитриева Т. Л. Вероятностный анализ распределения пиковой интенсивности землетрясений на примере г. Иркутска // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 4. С. 570–578. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-570-578>.

Original article**Probabilistic analysis of peak intensity distribution of earthquakes on an example of Irkutsk****Danil A. Karmazinov¹, Tatiana L. Dmitrieva²**^{1,2}Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia
Corresponding author: Danil A. Karmazinov, dkarmazinov@gmail.com

Abstract. This article discusses approaches to forecasting the earthquake odds of a given intensity level. This problem is relevant for the earthquake-prone zone in the south of the Irkutsk region characterised by an estimated intensity of shaking of up to 9 points, where large, populated areas having developed industrial and civil construction are located. The intensity values for Irkutsk were obtained using the analysed data on the seismic activity of the Baikal and Transbaikalia regions in 1973–2020 by the equation of the macroseismic field. The algorithm for predicting large and medium-sized earthquakes involves mathematical statistics and probability theory. A corresponding empirical distribution was derived on the basis of a sample of the maximum intensity values for the specified period in each year. The potential applicability of common distribution functions for describing the intensity distribution of

seismic vibrations was considered. It was established that the normal distribution function provides the most accurate description of statistical data. It was concluded that, by using this function, it is possible to determine the high-intensity vibration odds that can lead to serious destruction, as well as their most probable annual peak intensity, which may allow for measures ensuring the resistance of load-bearing structures of buildings to background seismic impacts.

Keywords: seismic activity, earthquake, mathematical statistics, probability theory, Pearson's criterion

For citation: Karmazinov D. A., Dmitrieva T. L. Probabilistic analysis of peak intensity distribution of earthquakes on an example of Irkutsk. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(4):570-578. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-570-578>.

ВВЕДЕНИЕ

Вопрос прогноза крупных землетрясений и оценки их вероятности всегда был актуален для ученых-сейсмологов, а также инженеров-строителей, занятых проектированием и возведением зданий и сооружений в зонах повышенной сейсмической опасности. К таковым относится и Иркутская область.

Особенный интерес представляет прогноз крупных проявлений сейсмической активности, которые влекут за собой максимальный ущерб экономике в целом [1, 2] и фонду недвижимости в частности.

В ряде случаев работы по ликвидации последствий землетрясений являются проблемами государственного масштаба. Достаточно вспомнить знаменитое Таншаньское землетрясение, произошедшее 28 июля 1976 г. [3].

Таким образом, исследования по отысканию так называемых «предвестников землетрясения», которые бы давали наиболее полную и своевременную информацию о предстоящих изменениях сейсмической активности в регионе наблюдения, ставят своей целью возможность минимизировать последствия землетрясений. Так, следуя В. В. Кашковскому [4], в качестве предвестника может выступать резкое изменение концентрации гелия, что предшествовало ряду крупных землетрясений, таких, как землетрясения в г. Ашхабаде (1948 г.) и г. Ташкенте (1966 г.).

Однако в связи с большим числом случайных факторов, влияющих на конечные результаты измерения и повышающих конечную вероятность ложного прогноза, использование данной модели в настоящее время затруднительно и представляет собой отдельную задачу.

Возможен вариант использования некоторых закономерностей, которые могут быть обнаружены при анализе картины предшествующей сейсмической активности, как это было сделано в работах [5, 6]. При этом важно отделить афтершоки от исследуемой совокуп-

ности землетрясений, поскольку они несут на себе малую часть энергии процесса.

Как правило, с этой целью выбираются группы землетрясений, свободных от афтершоков, как, например, группа землетрясений Памиро-Гиндукушской области с глубинами очагов от 80 до 230 км. Эти землетрясения составляют очень компактную группу, как правило, свободны от афтершоков, и их пространственное расположение весьма устойчиво во времени. Однако возможен вариант использования выборки землетрясений, включающей в себя афтершоки, если предварительно отчистить ее от таковых, применяя различные алгоритмы декластеризации [7, 8].

Постановка задачи. Общеизвестно, что наиболее надежным методом оценки вероятности землетрясения является стохастический подход, основанный на случайности возникновения очагов землетрясений различной интенсивности, что дает возможность использовать аппарат математической статистики. Так, согласно [9], применяя аппарат математической статистики можно определить закон продуктивности землетрясения, определяющий закономерность между магнитудой исходных землетрясений и числом порождаемых им афтершоков.

В случае, когда речь идет о регионах, расположенных близко к границам литосферных плит, целесообразно использовать стохастический подход для определения наивероятнейшего числа землетрясений заданной магнитуды за определенный период [10]. В целом вопрос прогноза сильных землетрясений является крайне актуальным и находит свое отражение в целом ряде работ [11–14].

Принципы и положения теории вероятности и математической статистики находят свое приложение и в прикладных задачах климатологии. В частности, они применяются при анализе распределений ветровой нагрузки с целью получения закона распределения, наиболее точно отражающего действительность.

Подобная постановка задачи встречается в работе А. Б. Рыхлова [15]. Аналогичный подход встречается и в иных прикладных задачах, таких, как определение расчетных нагрузок снегового покрова [16, с. 361].

С этой целью производится оценка аппроксимации статистических данных различными функциями распределения. В приложении к сейсмическим воздействиям данная методология может быть преобразована, если в качестве объекта наблюдения выбрать максимальную для некоторого рассматриваемого периода исходную интенсивность колебаний I . Данный шаг может быть обусловлен тем, что в качестве основного параметра при проектировании в сейсмических районах используется расчетная интенсивность колебаний $I_{расч}$, напрямую зависящая от исходной интенсивности и характеристик грунта, по которому и распространяется волна.

В нормативном документе СП 14.13330.2018¹, регламентирующем строительство в сейсмически опасных районах, главным образом уделяется внимание тому значению интенсивности, которое может быть превышено с вероятностью 10%, 5% и 1% относительно значений (стр. 97–99).

Данное решение продиктовано, в первую очередь, потребностью в разработке проектов сооружений, способных выдержать землетрясения со значительными уровнями магнитуды колебаний без разрушений. Однако при таком подходе игнорируются колебания сравнительно небольшой интенсивности (4–6 баллов), также оказывающие влияние на характеристики материалов (так называемая усталость материала), что, несомненно, может повлечь за собой прекращение нормальной эксплуатации зданий и сооружений.

Так, П. С. Созонов в своей работе² указывает на многочисленные свидетельства, подтверждающие снижения характеристик железобетонных конструкций в результате многократного воздействия фоновой сейсмичности, не превышающей, однако, значения расчетной интенсивности. Все это позволяет говорить о важности учета колебаний сравнительно малой интенсивности, из чего непосредственно вытекает потребность определить закон распределения интенсивности колеба-

ний с опорой на эмпирические данные.

Подбор аппроксимирующих функций распределения. В данной работе приведен анализ данных, связанных с сейсмической активностью (энергетический класс землетрясений, глубина очага и географические координаты эпицентра) территории Забайкалья и Прибайкалья за период с 1973 по 2020 гг., полученных по результатам многолетних наблюдений Байкальского филиала единой Геофизической службы СО РАН [17] и Геологической службы США (USGS) [18].

Для каждого года означенного периода были найдены максимальные значения интенсивности в приложении к г. Иркутску (рис. 1), на основании которых и было составлено эмпирическое распределение. Использовалось уравнение макросейсмического поля (ГОСТ 34511 – 2018³) с целью оценки интенсивности колебаний:

$$I = aM_s - b \cdot \lg(H^2 + R^2)^{0.5} + c, \quad (1)$$

где M_s – магнитуда по поверхностным волнам; H – глубина очага, км; R – эпицентрально-расстояние, км; a , b , c – эмпирические коэффициенты, принимаемые согласно приложению ГОСТ 34511 – 2018³ для Прибайкалья как $a=1,5$, $b=4,0$ и $c=4,0$. Данное уравнение позволяет получить значение интенсивности колебаний в точке с заданными географическими координатами. При этом учитываются поправки на геологическое строение грунта (учитываются грунты II категории по нормативным сейсмическим свойствам согласно табл. 4.1 СП 14.13330.2018¹), и на направление распространения колебаний. Отметим, что в настоящее время предпринимаются попытки смоделировать движение грунта в условиях землетрясений⁴ [19], однако их применимость носит локальный характер и сильно зависит от свойств самих землетрясений. Получив выборку пиковых значений интенсивности землетрясений, соответствующих каждому году изучаемого временного промежутка, появляется возможность составить эмпирическое распределение между числом (вероятностью) колебаний от их интенсивности (рис. 2), на основании которого выполняется дальнейший анализ применимости статистических законов распределения.

¹СП 14.13330.2018 Строительство в сейсмических районах. Введ. 25.11.2018 г. // Kodeks.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/550565571> (01.10.2022).

²Созонов П. С. Учет влияния предыстории деформирования железобетонных элементов в расчетах на сейсмические воздействия: дисс. ... канд. техн. наук. Улан-Удэ, 2016. С. 137.

³ГОСТ 34511 – 2018 Землетрясения. Макросейсмическая шкала интенсивности. Введ. 01.09.2019 г. // Kodeks.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200163880> (01.10.2022).

⁴Монсик В. Б., Скрынников А. А. Вероятность и статистика: учеб. пособие / Под ред. И. Я. Ицхоки. М.: БИНОМ : Лаборатория знаний, 2021. С. 381.

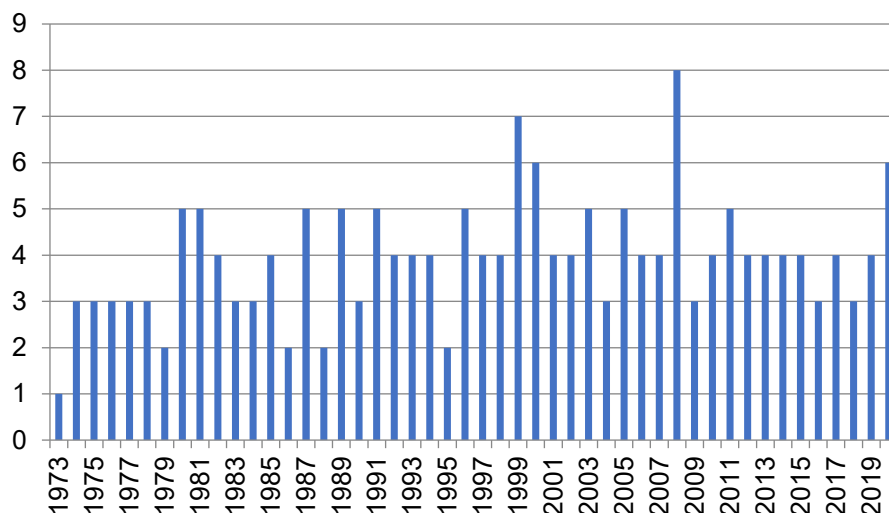


Рис. 1. Распределение пиковых интенсивностей колебаний по годам за 1973–2020 гг.
Fig. 1. Distribution of peak intensity fluctuations by year for the period 1973-2020

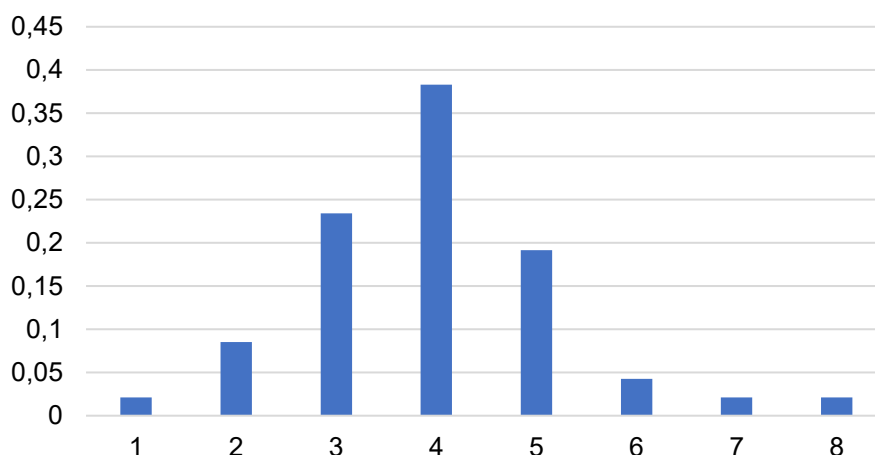


Рис. 2. Экспериментальная вероятность землетрясения с заданной интенсивностью
Fig. 2. Experimental probability of an earthquake with a given intensity

Для дальнейшего анализа отберем наиболее распространенные законы распределения случайных величин, нашедших свое применение в различных областях науки и техники:

- закон Пуассона:

$$P_m = \frac{a^m}{m!} e^{-a}, \quad (2)$$

где a – параметр распределения, равный математическому ожиданию случайной величины ($a=m_x$); m – значения, принимаемые случайной дискретной величиной.

- распределение Гаусса (нормальное распределение) с плотностью вероятности вида:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma^2}}, \quad (3)$$

где x – значение случайной величины;
 σ – среднеквадратичное отклонение случайной величины.

- логнормальное распределение (при $x > 0$):

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x)-m_x)^2}{2\sigma^2}}. \quad (4)$$

- распределение Вейбулла:

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{\theta}\right)^\beta}, \quad (5)$$

где θ и β – параметры распределения, связанные с математическим ожиданием и среднеквадратичным отклонением следующими соотношениями:

$$\bar{x} = \theta\Gamma\left(1 - \frac{1}{\beta}\right);$$

$$s^2(x) = \theta^2\left(\Gamma\left(1 - \frac{2}{\beta}\right) - \Gamma^2\left(1 - \frac{1}{\beta}\right)\right).$$

- распределение Гумбеля:

$$F(x) = e^{(-e^{\frac{a-x}{b}})}, \quad (6)$$

где a и b – параметры распределения, связанные с математическим ожиданием и среднеквадратичным отклонением следующими соотношениями:

$$\bar{x} = a + 0,5776b, \\ s^2(x) = 1,645b^2.$$

Таким образом, задача нахождения функции распределения максимальных интенсивностей колебания сводится к выбору наиболее адекватно отражающего действительность закона. При этом потребуется выполнение такого важного условия, как оценка точности аппроксимирующей функции и эмпирических данных. Поскольку число наблюдений ограничено, то и закон распределения не позволит объективно оценить распределение генеральной совокупности. В таком случае для окончательного выбора функции распределения потребуется ввести некоторое предположение (гипотезу), что статистический ряд, лежащий в основе эмпирического распределения, представляет собой случайную выборку из генеральной совокупности, имеющую заданный закон распределения.

Соответственно, задача будет сведена к нахождению уровня допустимости расхождения эмпирического и теоретического распределений, который, в свою очередь, установит, является распределение допустимым или нет. Как правило, в качестве определяющего возможную степень расхождения выбирается критерий Пирсона:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i}, \quad (7)$$

где n_i – число вхождений в интервал; p_i – вероятность попадания в интервал; n – общее число данных.

Критическое значение критерия Пирсона χ_{cr}^2 устанавливает такое его значение, превышение которого позволяет говорить о принятии случайного расхождения за систематическое с некоторой вероятностью (P_0), именуемой уровнем значимости. В рамках данной работы уровень значимости был принят равным $p_0=5\%$.

Помимо этого, критическое значение зависит также от степеней свободы рассматриваемого распределения, вычисляемого как

$$g = s - I - 1, \quad (8)$$

где I – число дополнительных соотношений, устанавливающих связи между эмпирическим и теоретическим законами распределения.

Тогда при $\chi^2 < \chi_{cr}^2$ разница между теоретическим и статистическим распределением не велика и гипотеза принимается, в противном же случае отвергается. Последнее означает, что данная функция распределения не может быть использована для аппроксимации исследуемого эмпирического распределения. Для того чтобы провести анализ применимости законов (2–6), потребовалось проанализировать вариационный ряд, полученный из исходной выборки максимальных интенсивностей колебаний по годам. Анализ был выполнен средствами *MSExcels* (табл. 1).

Таблица 1. Описательная статистика по выборочной совокупности

Table 1. Descriptive statistics on the sample population

Среднее	3,9375
Стандартная ошибка	0,186908049
Медиана	4
Мода	4
Стандартное отклонение	1,294936949
Дисперсия выборки	1,676861702
Эксцесс	1,510861466
Ассиметричность	0,611309891
Интервал	7
Минимум	1
Максимум	8
Сумма	189
Счет	48
Уровень надежности	0,376010495

Далее, используя характеристики эмпирического распределения – среднее значение (выражающее в силу ограниченности выборки математическое ожидание случайной величины) и стандартное (среднеквадратичное) отклонение, – были получены выражения для нормального и логнормального распределения, а также для распределения Пуассона.

Получение выражений распределения Вейбулла и Гумбеля было связано с определенными трудностями, обусловленными сложностью зависимости параметров распределения от математического ожидания и среднеквадратичного отклонения, для разрешения которых была использована программная среда *MathCAD* (рис. 3), где в качестве вектор-столбцов x и y выступают значения интенсивности колебаний и соответствующих им значений эмпирической функции распределения.

Для непосредственного нахождения параметров θ и β (для распределения Вейбулла), а также параметров a и b (для распределения Гумбеля), была использована функция *genefit*, в качестве аргументов которой использовались обозначенные выше вектор-столбцы x и y , а также вектор-столбец g , задающий начальное приближение значений искомых

параметров, и некоторая функция, зависящая от этих параметров (в нашем случае в качестве этой функции выступает выражения распределений Вейбулла и Гумбеля).

Для полученных выражений функций распределений найдем их значения в зависимости от интенсивности колебаний.

Эмпирическое распределение

$$x := \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \\ 8 \end{pmatrix} \quad y := \begin{pmatrix} 0 \\ 0.021276596 \\ 0.106382979 \\ 0.340425532 \\ 0.723404255 \\ 0.914893617 \\ 0.957446809 \\ 0.978723404 \end{pmatrix}$$

Аппроксимирующая функция Вейбулла

$$P1(xx, \alpha, \beta) := 1 - \exp\left[-\left(\frac{xx}{\alpha}\right)^\beta\right]$$

$$gg := \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \end{pmatrix} \quad KfV := \text{genfit}(x, y, gg, P1) = \begin{pmatrix} 4.80129 \\ 4.55469 \end{pmatrix} \quad \alpha1 := KfV_1 \quad \beta1 := KfV_2$$

Рис. 3. Расчет неизвестных параметров распределения средствами *MathCAD*
На примере распределения Вейбулла

Fig. 3. Calculation of unknown distribution parameters by means of *MathCAD*
on the example of the Weibull distribution

После получения значений функций распределения можно приступить к непосредственному анализу их применимости для аппроксимации результатов экспериментальных данных. Для этого для каждой функции распределения были найдены их значения критерия Пирсона, после чего было произведено их сравнение с критическим уровнем этого критерия. Так, согласно (8), для распределения Пуассона число степеней свободы было принято равным:

$$g = 8 - 1 - 1 = 6;$$

для остальных функций распределения:

$$g = 8 - 1 - 2 = 5.$$

Используя значения числа степеней свободы, по таблицам [23, прил. 6] определяем критический уровень критерия Пирсона:

$$\chi_{cr, \text{poisson}}^2 = 12.59; \quad \chi_{cr}^2 = 11.07.$$

Сопоставим полученные значения критерия Пирсона с его критическим значением для каждого распределения (табл. 2).

Анализируя данные, можно сделать выводы о применимости данных функции в качестве функции распределения статистических данных.

Так, распределения Вейбулла, Гумбеля и Пуассона, а также логнормальное распределение дают превышение по отношению к критическому значению критерия Пирсона.

При этом распределение Вейбулла дает значительное расхождение ($\chi^2=95,56$), что может говорить об ошибочности включения ее в список анализируемых функций.

Таким образом, можно заключить, что наиболее точное отражение статистических данных дает функция нормального распределения $\chi^2 = 9.81 < \chi_{cr}^2 = 11.07$ (рис. 4).

Таблица 2. Выбор оптимальной функции распределения на основании критерия Пирсона
Table 2. Selection of the optimal distribution function based on the Pearson criterion

Функция	Значение Критерия Пирсона	Критическое значение χ^2_{cr}
Нормальное распределение	9,81	11,07
Логнормальное распределение	15,33	11,07
Распределение Вейбулла	95,56	11,07
Распределение Гумбеля	19,37	11,07
Распределение Пуассона	18,04	12,59

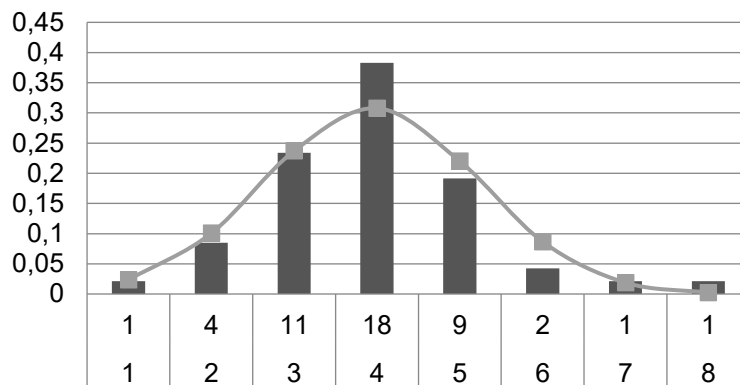


Рис. 4. Совместное представление экспериментальных данных (гистограмма) и аппроксимирующей функции нормального распределения (непрерывная линия)
Fig. 4. Joint representation of experimental data (histogram) and the approximating function of the normal distribution (continuous line)

ВЫВОДЫ

В ходе проделанной работы проанализированы данные по сейсмической активности региона (Прибайкалье и Забайкалье) за 1973–2020 гг., на основании которых с использованием уравнения макросейсмического поля получены значения интенсивности колебаний в г. Иркутске. Путем выборки максимальных значений интенсивности колебаний для каждого года за указанный период было составлено соответствующее эмпирическое распределение. Далее на основании проведенного анализа из принятого набора функций была выявлена наиболее точно аппроксими-

рующая экспериментальные данные функция нормального распределения Гаусса, при использовании которой можно определить вероятность не только наиболее интенсивных колебаний, которые могут повлечь за собой серьезные разрушения, но также и наиболее вероятную пиковую (за год) интенсивность колебаний (4 балла по шкале MSK–64), что может быть предпосылкой к проведению мероприятий, связанных с повышением сопротивляемости несущих конструкций зданий фоновым воздействиям колебаний данной интенсивности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Архиреева И. Г., Заалишвили З. В. К оценке экономического ущерба от сильных землетрясений // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2013. № 4. С. 69–72.
- Борисов В. В. Статистическое моделирование прямых социальных и экономических последствий землетрясений в районе озера Байкал // Науковедение. 2016. Т. 8. № 2 (33). С. 1–25. <http://doi.org/10.15862/43EVN216>.
- Белоногова Е. А. Таншаньское землетрясение в Китае: современные коммеморативные практики // Сибирские исторические исследования. 2019. № 4. С. 114–133.
- <https://doi.org/10.17223/2312461X/26/6>.
- Кашковский В. В., Семенов Р. М., Лопатин М. Н. Применение системного подхода для разработки методов прогноза землетрясений // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2017. № 2 (54). С. 95–102.
- Гайский В. Н. Статистические исследования сейсмического режима. М.: Наука, 1970. 124 с.
- Fedotov S. A., Solomatin A. V. Long-term earthquake prediction (LTEP) for the Kuril–Kamchatka island arc, June 2019 to May 2024; properties of preceding seismicity from January 2017 to May 2019. The development and practical application of

the LTEP method // *Journal of Volcanology and Seismology*. 2019. No. 13. P. 349–362.
7. Teng G., Baker J. W. Seismicity Declustering and Hazard Analysis of the Oklahoma–Kansas Region // *Bulletin of the Seismological Society of America*. 2019. No. 109 (6). P. 2356–2366.
8. Console R., Jackson D. D., Kagan Y. Y. Using the ETAS model for catalog declustering and seismic background assessment // *Pure and applied geophysics*. 2010. Vol. 167. No 6–7. P. 819–830.
9. Shebalin P. N., Baranov S. V., Narteau C. Earthquake productivity law // *Geophysical journal international*. 2020. No 222. P. 1264–1269. <http://doi.org/10.1093/gji/ggaa252>.
10. Pratnya Paramitha Oktaviana, Irhamah. Kolmogorov-Smirnov Goodness-of-Fit test for identifying distribution of the number of earthquakes and the losses due to earthquakes in Indonesia // *Journal of Physics: Conference Series* (Surabaya, 24 October 2020). 2020. Vol. 1821. P. 012045. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1821/1/012045>.
11. Широков В. А., Фирстов П. П., Макаров Е. О., Степанов И. И., Степанов В. И. Возможный подход к краткосрочному и долгосрочному прогнозу сильнейших землетрясений на примере Тохоку (Япония) 11 марта 2011 г., $m_w=9.0$ // *Сейсмические приборы*. 2014. Т. 50. № 4. С. 5–22.
12. Lyubushin A. A. The statistics of the time segments of low-frequency microseisms: trends and synchroni-zation // *Izvestiya. Physics of the solid earth*. 2010. Vol. 46. P. 544–554. <http://doi.org/10.1134/S1069351310060091>.

13. Любушин А. А. Анализ микросейсмического шума дал возможность оценить магнитуду, время и место сейсмической катастрофы в Японии 11 марта 2011 г. // *Наука и технологические разработки*. 2011. № 90. С. 3–12.
14. Sobolev G. A. Microseismic variations prior to a strong earthquake // *Izvestiya. Physics of the solid earth*. 2004. Vol. 40. No. 6. P. 455–464.
15. Рыхлов А. Б. Анализ применения законов распределения для выравнивания скоростей ветра // *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: науки о Земле*. 2010. Т. 10. № 2. С. 25–30.
16. Райзер В. Д. Теория надежности сооружений. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2010. С. 383.
17. Yamamoto Y., Baker J. W. Stochastic model for earthquake ground motion using wavelet packets // *Bulletin of the Seismological Society of America*. 2013. Vol. 103. No. 6. P. 3044–3056. <http://doi.org/10.1785/0120120312>.
18. Bradley B. A., Baker J. W. Ground motion directionality in the 2010–2011 Canterbury earthquakes // *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*. 2015. Vol. 44. No. 3. P. 371–384. <http://doi.org/10.1002/eqe.2474>.
19. Shahi S. K., Baker J. W. NGA-West2 models for ground-motion directionality // *Earthquake Spectra*. 2014. Vol. 30. No. 3. P. 1285–1300. <https://doi.org/10.1193/040913eqs097m>.

REFERENCES

1. Arkhireyev A. G., Zaalishvili Z. V. On the assessment of economic damage from strong earthquakes. *Seysmostoykoye stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzheniy = Earthquake engineering. Constructions safety*. 2013;4:69–72. (In Russ.).
2. Borisov V. V. Statistical modelling of direct social and economic aftermath of earthquakes in Lake Baikal region. *Naukovedeniye*. 2016;8 (2):1–25. (In Russ.).
3. Belonogova E. A. The Tangshan earthquake in China: current commemorative practices. *Sibirskiy istoricheskoye issledovaniya = Siberian historical research*. 2019;4:114–133. (In Russ.). <https://doi.org/10.17223/2312461X/26/6>.
4. Kashkovski V. V., Semenov R. M., Lopatin M. N. A Systematic approach for developing methods of earthquake prediction. *Sovremennye tehnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovanie = Modern technologies. System analysis. Modeling*. 2017;2:95–102. (In Russ.).
5. Gayskiy V. N. Statistical studies of the seismic regime. Moscow: Nauka; 1970. 124 p. (In Russ.).
6. Fedotov S. A., Solomatin A. V. Long-term earthquake prediction (LTEP) for the Kuril–Kamchatka island arc, June 2019 to May 2024; properties of preceding seismicity from January 2017 to May 2019. The development and practical application of

the LTEP method. *Journal of Volcanology and Seismology*. 2019;13:349–362.
7. Teng G., Baker J. W. Seismicity declustering and hazard analysis of the Oklahoma–Kansas region. *Bulletin of the Seismological Society of America*. 2019;109(6):2356–2366.
8. Console R., Jackson D. D., Kagan Y. Y. Using the ETAS model for catalog declustering and seismic background assessment. *Pure and applied geophysics*. 2010;167(6–7):819–830.
9. Shebalin P. N., Baranov S. V., Narteau C. Earthquake productivity law. *Geophysical journal international*. 2020;222:1264–1269. <http://doi.org/10.1093/gji/ggaa252>.
10. Pratnya Paramitha Oktaviana, Irhamah. Kolmogorov-Smirnov Goodness-of-Fit test for identifying distribution of the number of earthquakes and the losses due to earthquakes in Indonesia. *Journal of Physics: Conference Series*. 24 October 2020, Surabaya, Indonesia. 2020. Vol. 1821. P. 012045. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1821/1/012045>.
11. Shirokov V. A., Firstov P. P., Makarov E. O., Stepanov I. I., Stepanov V. I. An approach to short- and long-term forecast of the strongest earthquakes by the example of the Tohoku earthquake (Japan,

march 11, 2011, $m_w=9.0$). *Seismicheskiye pribory*. 2014;50(4):5-22. (In Russ.).

12. Lyubushin A. A. The statistics of the time segments of low-frequency microseisms: trends and synchronization. *Izvestiya. Physics of the solid earth*. 2010;46:544-554. <http://doi.org/10.1134/S1069351310060091>.

13. Lyubushin A. A. Microseisms noise analysis provided prediction of Japan earthquake of 11 march, 2011. *Nauka i tekhnologicheskie razrabotki = Science and technological developments*. 2011;90:3-12. (In Russ.).

14. Sobolev G. A. Microseismic variations prior to a strong earthquake. *Izvestiya. Physics of the solid earth*. 2004;40(6):455-464.

15. Rykhlov A. B. Analysis of the application of distribution laws to equalize wind speeds. *Izvestiya Saratovskogo Universiteta. Novaya seriya. Seriya: nauki o*

Zemle = Izvestiya of Saratov University. New series. Series: Earth sciences. 2010;10(2):25-30. (In Russ.).

16. Rayzer V. D. Theory of reliability of structures. Moscow: PH of the Association of Construction Universities; 2010. p. 383. (In Russ.).

17. Yamamoto Y., Baker J. W. Stochastic Model for Earthquake Ground Motion Using Wavelet Packets. *Bulletin of the Seismological Society of America*. 2013;103(6):3044-3056. <https://doi.org/10.1785/0120120312>.

18. Bradley B. A., Baker J. W. Ground motion directionality in the 2010-2011 Canterbury earthquakes. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*. 2015;44(3):371-384. <https://doi.org/10.1785/0120120312.10.1002/eqe.2474>.

19. Shahi S. K., Baker J. W. NGA-West2 models for ground-motion directionality. *Earthquake Spectra*. 2014;30(3):1285-1300. <https://doi.org/10.1193/040913eqs097m>.

Информация об авторах

Д. А. Кармазинов,
инженер-проектировщик,
АО «Сибгипробум»,
студент,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: dkarmazinov@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-1803-1270>

Т. Л. Дмитриева,
доктор технических наук, 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>

Вклад авторов

Авторы имеют равные авторские права и несут
равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 19.09.2022.
Одобрена после рецензирования 12.10.2022.
Принята к публикации 17.10.2022.

Information about the authors

Danil A. Karmazinov,
Design Engineer,
АО «Sibgiprobum»,
Student,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: dkarmazinov@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-1803-1270>

Tatyana 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>

Contribution of the authors

The authors have equal author's rights and bears
the responsibility for plagiarism.

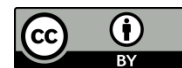
Conflict of interests

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 19.09.2022.
Approved after reviewing 12.10.2022.
Accepted for publication 17.10.2022.



Организационно-технологические мероприятия по экономии ресурсов и энергосбережению в процессе проектирования и строительства в зимний период

Андрей Константинович Комаров¹, Виктория Евгеньевна Розина²,
Павел Александрович Шустов³

^{1,2,3}Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия
Автор, ответственный за переписку: Розина Виктория Евгеньевна, vikt.rozina@yandex.ru

Аннотация. Цель – рассмотреть проблемы получения строительной продукции в зимний период и сложные комплексные технологические процессы с учетом научных достижений в этой области, анализа факторов влияния при решении теплофизических задач, а также оценки результатов на производственные показатели, главным образом, на экономические. Накопленный отечественный и зарубежный опыт – результат многолетней напряженной работы ученых и инженеров, продолжающейся и поныне. В регионе Восточной Сибири и прилегающих к ней областях, характеризующихся длительным холодным зимним периодом, строительные работы ведутся круглогодично. При этом особое внимание необходимо уделять планированию строительного производства в зимний период, разработке рабочей документации с учетом сезонности производства работ. Должна быть учтена материально-техническая оснащенность подрядной строительной организации, главным образом обоснованность оперативных планов строительно-монтажных работ и графика финансирования. В работе отражены примеры строительства в зимний период, иллюстрирующие имеющиеся недостатки, в частности повышенное энергопотребление. Приведены некоторые рекомендации, призванные повысить качество проектной документации.

Ключевые слова: зимний период, энергоэффективность, энергосбережение, технологическая карта, проект организации строительства, проект производства работ

Для цитирования: Комаров А. К., Розина В. Е., Шустов П. А. Организационно-технологические мероприятия по экономии ресурсов и энергосбережению в процессе проектирования и строительства в зимний период // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 4. С. 579–588. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-579-588>.

Original article

Administrative and technological measures to save resources and energy during design and construction in winter

Andrey K. Komarov¹, Victoria E. Rozina², Pavel A. Shustov³

^{1,2,3}Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia
Corresponding author: Victoria E. Rozina, vikt.rozina@yandex.ru

Abstract. This article considers the problems of obtaining construction products in winter, along with complex technological processes, in the light of scientific achievements and analysis of influencing factors when solving thermophysical problems, as well as evaluating the results on production indicators, especially those related to economics. The accumulated domestic and foreign experience reflects years of intensive work carried out by scientists and engineers, which continues to this day. In Eastern Siberia and neighbouring regions characterised by a prolonged winter period, construction works are carried out all year round. Special attention should be paid to planning construction activities in winter and developing working documentation in view of the seasonality of work. The material and technical resources of the construction contractor should be taken into account, mainly the feasibility of

the operational plans for construction and installation activities and the financing schedule. The paper includes examples of winter construction demonstrating the existing limitations, in particular the increased energy consumption. Some recommendations are given aimed at improving the quality of project documentation.

Keywords: winter period, energy efficiency, energy saving, technological map, construction organization project, work production project

For citation: Komarov A. K., Rozina V. E., Shustov P. A. Administrative and technological measures to save resources and energy during design and construction in winter. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'* = *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(4):579-588. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-579-588>.

ВВЕДЕНИЕ

Термины и понятия «энергоэффективность» и «энергосбережение» давно и прочно вошли в наш быт и в нашу действительность. Задачи, стоящие перед государством, ведомствами, наконец, экономическая целесообразность, просты и ясны – на всех этапах жизненного цикла строительных объектов добиться минимизации энергетических затрат.

На данном этапе развития строительной техники и технологии достигнуты ощутимые результаты научных исследований, реализованных в практике строительства. Зачастую достижение поставленных целей является сложной исследовательской задачей, требующей анализа многочисленных факторов влияния на решение трехмерных теплофизических задач, с оценкой результатов по различным критериям, главным образом экономическим.

Накопленный отечественный и зарубежный опыт – результат многолетней напряженной работы ученых и инженеров, продолжающейся и поныне. «Пассивный дом» – мечта собственников любых домов, как и использование нетрадиционных источников энергии.

Основные положения по энергосбережению изложены в нормативных и методических документах¹. Однако понятие «энергосбережение» имеет и другое более простое в инженерном отношении понятие. А именно – экономия всех видов энергии и ресурсов на всех этапах до введения объекта в эксплуатацию,

и, конечно же, тесно связанное с этим понятие «энергоэффективность» в строительном производстве [1–12]. Здесь громадное поле деятельности для совершенствования процессов проектирования и возведения зданий и сооружений. Рассмотрим строящиеся объекты г. Иркутска. Аналогичная ситуация имеет место Иркутской области и на прилегающих к ней территориях.

Регион Восточной Сибири характеризуется относительно длительным и холодным зимним периодом. Так как строительные работы в этот период не должны останавливаться, необходимо более тщательно подходить к планированию строительного производства в этот период.

На стадии проектирования нет достоверной информации (или она очень приближительна) о сроках начала строительства и продолжительности реализации проекта. Вычисляется только общая трудоемкость работ. Работа по разработке рабочей документации проводится без учета сезонности производства работ. И даже на этапе разработки проекта организации строительства (ПОС) в подавляющем большинстве недостаточно учитываются климатические условия. При этом в соответствии с Методикой² указывается, что при составлении сметной документации учитываются так называемые лимитированные затраты, в том числе зимнее удорожание, которое подразделяется по видам строительства (назначение объекта и его конструктив-

¹Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации (с изм. от 14 июля 2022 года): федер. закон от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ // Кодекс [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902186281> (09.11.2022); Основы энергосбережения: учеб. пособие / Под. ред. Б. И. Врублевского. Гомель: ЧУП «ЦНТУ «Развитие», 2002. 190 с.;

Виленский П. Л., Лившиц В. Н., Смоляк С. А. Оценка эффективности инвестиционных проектов: теория и практика: учеб. пособие. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Поли Принт Сервис, 2015. 1300 с.;

Практическое пособие по выбору и разработке энергосберегающих проектов: учеб. пособие / Под ред. О. Л. Данилова, П. А. Костюченко. М.: Технопромстрой, 2006. 668 с.

²Об утверждении Методики определения дополнительных затрат при производстве работ в зимнее время: приказ от 25 мая 2021 года № 325/пр // Кодекс [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/607806359> (09.11.2022).

ное исполнение) и по видам работ, и эти затраты учитываются для нашей V температурной зоны в размере приблизительно от 1 до 5%. В локальных и объектных сметах обязательно должно учитываться зимнее удорожание, при наличии информация о сроках производства работ. На стадиях разработки проектной документации эта информация, как правило, отсутствует, поэтому при составлении смет зимнее удорожание в большинстве случаев не учитывается [13–15].

На стадии разработки проекта производства работ (ППР) и технологических карт (ТК) подрядной строительной организацией эти природно-климатические условия обязательно нужно учитывать, но разработка ППР и ТК происходит после утверждения проектной документации.

При выполнении работ по госзаказу ситуация еще более жесткая. Если по вине подрядчика или субподрядчика сдвинуты сроки строительства на период наступления низких температур, то компенсировать дополнительные затраты государство не обязано.

Технология и организация производства строительно-монтажных работ в зимнее время изучены очень глубоко и разработаны соответствующие рекомендации и технологические решения. Но при неграмотном и безответственном отношении к планированию строительного производства (составлением различных видов формальных и необоснованных графиков производства работ) исполнители сталкиваются с необходимостью проведения мероприятий, удорожающих строительство главным образом за счет увеличения энергетических и иных затрат.

Заказчик, инвестор, застройщик далеко не всегда идут навстречу подрядчику и возмещают стоимость удорожания производства работ.

Удорожание строительства производится не только за счет увеличения потребления электроэнергии (обогрев помещения, прогрев конструкции, материалов и т.д.): модифицированные материалы, которые могут быть применены в холодное время года, стоят дороже традиционных, а их производство также сопряжено с дополнительными энергозатратами [16–19], которые связаны с необходимостью борьбы со снежными заносами, с наледями, с гололедом, с дополнительным обогревом бытовых, административных и производственных временных помещений. Громадные непредвиденные расходы связаны с необходимостью использования специальных машин и оборудования, способных производительнее работать в условиях нашей суровой зимы,

особенно при производстве земляных работ.

Сказанное выше не означает, что работы надо останавливать. Строительство – это непрерывный круглогодичный комплексный процесс. Иногда это просто необходимо и стратегически целесообразно. Надо лишь обоснованно подходить к планированию строительного производства. Ряд работ по возможности не следует планировать на зимний период. Например, земляные работы. Это приводит не только к удорожанию, но и к снижению качества обратных засыпок, уплотнения грунта, планировки территорий. Крайне ответственно следует относиться к планированию зимой производства бетонных работ. Даже применяя бетонную смесь с противоморозными добавками, или предусматривая прогрев твердеющего бетона, не учитывают теплотери при подаче к месту укладки смеси хоботами бетононасосов в неутепленных кран-бадьях. Не утепляются и опалубочные элементы, в результате чего температура начала твердения свежееуложенного бетона ниже планируемой. Поэтому необходимо увеличивать исходную марку бетона и концентрацию добавок или усиливать режим прогрева и его продолжительность (если использовать прогревный метод), что влечет за собой удорожание. Таких рассуждений можно привести много. Рассмотрим конкретные примеры.

1. Здание гражданское, многоэтажное. Внешние работы (фасады, наружные инженерные сети, кровля); подключение к сети временного теплоснабжения, т.е. создание теплового контура планировалось к осени календарного года. По факту в ноябре тепловой контур не готов, не подключена система теплоснабжения по вине подрядчиков. При этом генподрядная строительная организация, пытаясь форсировать сроки производства работ, осуществляет отделочные работы – выполняют выравнивающие цементно-песчаные стяжки, укладывают облицовочную плитку, шпаклюют стены и потолки. Для обеспечения положительной температуры на этаже установлены полтора десятка отопительных приборов (тепловых пушек, калориферов) по одному на 20 м² пола. При этом основания (стены и перекрытия) для отделочных составов заморожены, т.к. выше и ниже расположенные этажи холодные, не отапливаются. Можно прогнозировать качество выполняемых работ как неудовлетворительное. Затраты электроэнергии примерно 1800 кВт ч в сут., а в смете затраты на оплату дополнительного расхода энергии не предусмотрены.

2. Здание жилое многоэтажное. Ведутся работы «нулевого цикла». Земляные работы

планировалось выполнить в летний период, но по каким-то причинам завершить их не удалось. Сейчас, в ноябре, при отрицательной ночной температуре, грунт уже промерз на 20–30 см, и для его разработки используются механизмы большой мощности и пневматический инструмент. Дополнительные затраты на дизельное топливо и электроэнергию никого не останавливают.

Ведется устройство монолитных железобетонных ленточных фундаментов. Бетонная смесь с категорией -5°C (теперь так классифицируют состав смеси) укладывается на холодное основание и в холодную опалубку) при начальной температуре свежесушеного бетона не выше +10°C. Грамотному специалисту понятно, что при таких температурно-влажностных условиях (минусовая среднесуточная температура) бетон не наберет требуемой проектной прочности.

Необходимо дополнительно прогревать или обогревать конструкцию. Неясно, как компенсировать предстоящие энергетические затраты, ведь устройство фундаментов предполагалось выполнить в теплое время года. Предположительно, что и обратную засыпку пазух котлована будут производить мерзлым грунтом, а это значит, что через три года возникнет необходимость благоустраивать объект, а это – большие затраты, в том числе энергетические.

3. Объект – административное 3-этажное здание. Производятся работы по устройству навесного вентилируемого фасада. Работы ведет звено рабочих. Средства механизации работ – мощный автомобильный кран грузоподъемностью около 20 т и высотой подъема крюка – 25 м и автовышка. Совершенно очевидно, что оба этих механизма не нужны. Кран простаивает 90% рабочего времени, а стоимость его машино-часа составляет 2 283,02 руб., т. е. за смену затраты составят 18 264 руб.

Машино-час автовышки с высотой подъема люльки 12 м составляет 771,92 руб., т. е. в смену затраты 6175 руб. Вместо вышки с успехом можно было использовать инвентарные леса, которые учтены в смете в разделе «титовые сооружения» (в накладных расходах) и их эксплуатация составляет значительно меньшую сумму.

За три недели, а именно столько времени планируется для выполнения фасадных работ, эксплуатация крана и вышки обойдется в 367 000 руб. И сколько же будет стоить этот фасад, и как это отразится на себестоимости квадратного метра здания? К тому же эксплу-

атация механизмов – это тоже энергетические затраты.

При использовании инвентарных сборно-разборных лесов кран со значительно меньшими техническими характеристиками мог бы появляться на стройплощадке только эпизодически (2 раза в неделю на 1–2 ч) для подачи материалов и изделий на леса, т. е. для обеспечения фронта работ, а вышка вообще не нужна.

Приведенные примеры ярко иллюстрируют имеющиеся недостатки, в частности повышенное энергопотребление, проявившееся в зимний период производства работ на случайно выбранных объектах г. Иркутска. Эти примеры можно продолжать, достаточно лишь пройти по городу.

В другое время года имеют место иные недостатки, приводящие к непроизводительным и нецелевым расходам энергии и средств.

Увеличение сроков строительства приводит к дополнительным затратам на энергообеспечение строительных машин, оборудования, освещение временных зданий, сооружений, территории стройплощадки. Требуются дополнительные средства для оплаты по счетчикам за водоснабжение, за эксплуатацию других инженерных систем. Кроме того, нерационально эксплуатируются стационарно установленные механизмы (например, башенные краны). Возможны проблемы с поставками и хранением материалов, изделий и конструкций. Изменение сроков их потребления приводит часто к смене поставщиков и необходимости доставлять их из других более удаленных регионов, что сметами не предусмотрено. А это в том числе и энергетические затраты. Да и стоимость строительных материалов, изделий, конструкций и энергоресурсов постоянно поднимаются.

Другим характерным примером является использование машин и механизмов по нецелевому их назначению. Эти неоправданные решения характеризуются большими затратами машинного времени на единицу готовой продукции. Используют не тот тип экскаваторов, грузоподъемных, транспортных машин, механизмов по подаче, укладке и уплотнению бетонных смесей, механизмов по нанесению изоляционных и отделочных покрытий и так далее. Проиллюстрировать это можно следующим образом.

При монтаже строительных конструкций промышленного здания технически обоснованно применение комплексного метода монтажа – монтаж последовательно всех элемен-

тов в пределах конструктивной ячейки с последовательным переходом крана с одной стоянки на другие. Кран обладает значительными техническими характеристиками и стоимостью эксплуатации. Другой вариант – использование раздельного метода монтажа, т.е. поэлементный монтаж конструкций несколькими кранами последовательно. И хотя эти краны характеризуются меньшими техническими характеристиками, но их несколько и суммарная стоимость их эксплуатации выше, чем в первом случае, плюс затраты на перебазировку техники и, кроме того, в первом случае сокращается срок производства работ за счет оперативного создания фронта работ.

Часто можно наблюдать, как малогабаритный груз перемещается тяжелыми транспортными средствами.

При посещении строительных площадок констатируются неграмотность организации их работы, что, в свою очередь, свидетельствует об ошибках а это свидетельства ошибок при составлении строительных генеральных планов при разработке ПОС и ППР.

Вопросы технологии и организации производства работ, средства механизации должны быть регламентированы в технологических картах и проектах производства работ, но на практике это нередко отсутствует. Проектная организационно-технологическая документация (т.е. ППР) фактически не включает реальных технологических карт. В лучшем случае прикладываются типовые технологические карты, которые, по мнению проектировщиков, «привязываются» к реальному объекту. На самом деле типовые технологические карты разработаны на простые процессы, операции и приемы с использованием стандартных материалов, изделий и конструкций и типовых механизмов и оборудования. Фактически это материально-техническое обеспечение может не соответствовать проектным решениям. Так что типовые технологические карты не адаптированы к реальным условиям объекта.

Выявленные недостатки требуют быстрого реагирования. И если перерасход средств и связанное с этим увеличение энергозатрат решается между участниками строительства – предприятиями частного бизнеса (ЗАО, АО, ООО, частные предприниматели и др.), то это их выбор и их финансовые средства. В случае строительства за счет государственных средств необходимо проведение ряда мероприятий, главным образом в период разработки проектной документации, в подготовительный период строительства.

Установленным фактом является полная несогласованность действий заказчика (инве-

стора, застройщика), проектировщика и строителя. Это отмечают многие авторы, посвященных этому публикаций [20–22].

Существует еще одна проблема, касающаяся подрядной и субподрядной строительных организаций. Они, как правило, не участвуют в процессе проектирования. Участвуя в конкурсных процедурах, они недостаточно глубоко изучают проектную документацию, в том числе организационно-технологическую. И зачастую берутся за строительство объектов или выполнение отдельных СМР без учета состояния собственной материально-технической базы, экономических резервов и возможности снижения стоимости проекта на торгах. И в конечном итоге – невыполнение сроков строительства и дополнительные затраты для компенсации этого.

Ниже приведены некоторые рекомендации, которые должны повысить качество проектной документации:

1. При разработке ПОС необходимо оценивать трудоемкость работ, порядок (график) финансирования строительства, технологическую очередность производства работ, наличие «мокрых» процессов и процессов, которые не рекомендуется выполнять при отрицательной температуре. Цель – разрабатывать не «формальные» (как это есть сейчас в большинстве случаев), а реальные графики производства работ, учитывающие организационно-технологические особенности объекта строительства. Таким образом, с проектной организации не снимается ответственность за ходом строительства.

2. После определения подрядной строительной организации и разработки ее сотрудниками ППР, ПОС должен дорабатываться, конкретизироваться с учетом своей реальной базы механизации и оснащенности трудовыми кадрами. На этом этапе должен быть решен вопрос о привлечении недостающих производственных ресурсов (техника, оборудование, специалисты) и согласование этих решений с заказчиком или инвестором. При составлении ТК на наиболее сложные и ответственные процессы должны учитываться: выдерживание заданных сроков производства работ, обоснованность применяемых средств механизации, требуемое качество получаемой строительной продукции, снижение энергозатрат не в ущерб основной цели.

3. При прохождении экспертизы и согласования проектной документации (рабочей документации и ПОС) следует также обращать внимание на соответствие графика финансирования и графика производства работ и обоснованность назначения видов работ для

производства их в зимнее время как требующих дополнительных энергозатрат, использования спецтехники и соответствующего финансирования.

4. Заказчик на всех этапах (разработка ПД, РД, ПОС, ППР, ТК, экспертиза и согласования) должен принимать самое активное участие в проектировании, привлекать для этого специалистов – строителей и экспертов – с целью оптимизации зависимости: сроки – качество – финансирование – энергоэффективность – стоимость). Таким образом, с заказчика (инвестора) не снимается ответственность за принятые технические и экономические решения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, оптимизация строительного производства с точки зрения рационального использования производственных ресурсов,

включая энергетические, возможно лишь при слаженной работе всех участников процесса: заказчика, проектировщика, строительной организации. Это возможно лишь при выполнении работ по ФЗ № 44, ФЗ № 214 и Постановлению Правительства РФ № 615³, и то далеко не во всех случаях.

По всем иным вариантам подрядные строительные организации фактически отстранены от сотрудничества в процессе проектирования, и их производственные возможности учтены не будут.

Выбор подрядной организации носит зачастую случайный характер. Это и является тормозом для достижения поставленных целей – соблюдение сроков строительства, обеспечение требуемого качества, недопустимость непредвиденных затрат производственных ресурсов и энергетических затрат.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Прохоров С. В. Повышение уровня энергоэффективности строительного производства на основе применения современных средств механизации // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2017. № 8. С. 70–74. https://doi.org/10.12737/article_5968b4505c4335.57566134.
2. Куроптев А. С., Семиненко А. С. Энергоэффективное строительство: зарубежный и российский опыт // Студенческий научный форум: материалы VII Международной студенческой научной конференции [Электронный ресурс]. URL: <https://scienceforum.ru/2015/article/2015017452> (09.11. 2022).
3. Денисов В. Н., Шатков Н. Ю. Устройство тонких теплозащитных покрытий наружных стен при текущем ремонте // Технология и организация строительства: материалы I Всерос. межвузовской науч.-практ. конф. молодых ученых, посвященной 80-летию основания кафедры «Строительное производство» (г. Санкт-Петербург, 14–15 мая 2020 г.). СПб.: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2020. С. 131–134.
4. Киркин Д. С. Анализ энергоэффективности

- различных конструктивных систем при возведении многоэтажных зданий // Технология и организация строительства: материалы I Всерос. межвузовской науч.-практ. конф. молодых ученых, посвященной 80-летию основания кафедры «Строительное производство» (г. Санкт-Петербург, 14–15 мая 2020 г.). СПб.: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2020. С. 200–204.
5. Беспалов А. А. Оценка и сравнительное исследование современных теплоизоляционных систем // Технология и организация строительства: материалы I Всерос. межвузовской науч.-практ. конф. молодых ученых, посвященной 80-летию основания кафедры «Строительное производство» (г. Санкт-Петербург, 14–15 мая 2020 г.). СПб.: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2020. С. 42–49.
6. Григорьев В. В. Вентилируемые фасады // Технология и организация строительства: материалы I Всерос. межвузовской науч.-практ. конф. молодых ученых, посвященной 80-летию основания кафедры «Строительное производство» (г. Санкт-Петербург, 14–15 мая 2020 г.). СПб.: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-

³О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд: федер. закон от 5 апреля 2013 г. № 44-ФЗ // Garant.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/70353464/> (09.11.2022);

Об участии в долевом строительстве многоквартирных домов и иных объектов недвижимости и о внесении изменений в некоторые законодательные акты Российской Федерации (с изменениями и дополнениями): федер. закон от 30 декабря 2004 г. № 214-ФЗ // Garant.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/12138267/> (09.11.2022);

О порядке привлечения подрядных организаций для оказания услуг и (или) выполнения работ по капитальному ремонту общего имущества в многоквартирном доме и порядке осуществления закупок товаров, работ, услуг в целях выполнения функций специализированной некоммерческой организации, осуществляющей деятельность, направленную на обеспечение проведения капитального ремонта общего имущества в многоквартирных домах: постановление Правительства РФ от 1 июля 2016 г. N 615 (с изменениями и дополнениями) // Garant.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/71435834/> (09.11.2022).

- строительный университет, 2020. С. 113–117.
7. Лангольф М.А. Метод восстановления тепло-технических характеристик наружных ограждающих конструкций панельных зданий // *Технология и организация строительства: материалы I Всерос. межвузовской науч.-практ. конф. молодых ученых, посвященной 80-летию основания кафедры «Строительное производство»* (г. Санкт-Петербург, 14–15 мая 2020 г.). СПб.: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2020. С. 232–237.
8. Мосокина В.А. Проблемы технологии энергосберегающих зданий // *Технология и организация строительства: материалы I Всерос. межвузовской науч.-практ. конф. молодых ученых, посвященной 80-летию основания кафедры «Строительное производство»* (г. Санкт-Петербург, 14–15 мая 2020 г.). СПб.: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2020. С. 269–273.
9. Романова А. О. Применение жидкой теплоизоляции при строительстве зданий и сооружений // *Технология и организация строительства: материалы I Всерос. межвузовской науч.-практ. конф. молодых ученых, посвященной 80-летию основания кафедры «Строительное производство»* (г. Санкт-Петербург, 14–15 мая 2020 г.). СПб.: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2020. С. 324–329.
10. Сивцев П. С., Тимощук О. А. Современные проектные решения по повышению тепловой защиты стыков трехслойных железобетонных панелей 112-й серии в г. Якутске // *Технология и организация строительства: материалы I Всерос. межвузовской науч.-практ. конф. молодых ученых, посвященной 80-летию основания кафедры «Строительное производство»* (г. Санкт-Петербург, 14–15 мая 2020 г.). СПб.: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2020. С. 343–347.
11. Филатова Ю. А. Энергопотребление зданий: методы анализа // *Технология и организация строительства: материалы I Всерос. межвузовской науч.-практ. конф. молодых ученых, посвященной 80-летию основания кафедры «Строительное производство»* (г. Санкт-Петербург, 14–15 мая 2020 г.). СПб.: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2020. С. 442–446.
12. Юдина А. Ф., Головина Э. С. Оптимизация выбора данных для обеспечения теплофизических характеристик ограждающих конструкций // *Технология и организация строительства: материалы I Всерос. межвузовской науч.-практ. конф. молодых ученых, посвященной 80-летию основания кафедры «Строительное производство»* (г. Санкт-Петербург, 14–15 мая 2020 г.). СПб.: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2020. С. 458–465.
13. Шелехов И. Ю., Смирнов Е. Н., Пакулов С. А., Главинская М. М. Анализ производства строительных работ в зимний период времени // *Современные наукоемкие технологии*. 2017. № 6. С. 99–102.
14. Функ А. А. Строительство зданий и сооружений в экстремальных климатических условиях: особенности организации работ и используемых материалов // *Интернет-журнал «Транспортные сооружения»*. 2018. Т. 5. № 4. С. 6. <https://doi.org/10.15862/06SATS418>.
15. Леонтьев С. В., Авдеев П. П., Грибков Г. В. Проблемы зимнего бетонирования и пути их решения // *Инженерный вестник Дона*. 2022. № 1 (85). С. 431–440.
16. Сизов В. Н. Строительные работы в зимних условиях. М.: Госстройиздат, 1958. 538 с.
17. Усманов П. Можно ли строить каркасный дом зимой // *Домостроительные технологии* [Электронный ресурс]. URL: https://domstroyteh.ru/blog/stroitelstvo-karkasnogo-doma-zimoy.html?sphrase_id=620 (09.11.2022).
18. Брюс П. Строительство дома зимой // *Holz house* [Электронный ресурс]. URL: <https://holz-house.ru/information/blog/65-stroitelstvo-doma-zimoi> (09.11.2022).
19. Лазарев А. А., Гармс Е. В. Моделирование технологии зимнего бетонирования точными решениями дифференциального уравнения, полученного методом группового анализа // *Технология и организация строительства: материалы I Всерос. межвузовской науч.-практ. конф. молодых ученых, посвященной 80-летию основания кафедры «Строительное производство»* (г. Санкт-Петербург, 14–15 мая 2020 г.). СПб.: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2020. С. 219–231.
20. Занина Е. В., Сокольников В. В. Способы повышения организационно-технологической надежности строительства // *Технология и организация строительства: материалы I Всерос. межвузовской науч.-практ. конф. молодых ученых, посвященной 80-летию основания кафедры «Строительное производство»* (г. Санкт-Петербург, 14–15 мая 2020 г.). СПб.: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2020. С. 168–171.
21. Жакевич А. О., Царенко А. А. Факторы, влияющие на успешность организации строительства // *Технология и организация строительства: материалы I Всерос. межвузовской науч.-практ. конф. молодых ученых, посвященной 80-летию основания кафедры «Строительное производство»* (г. Санкт-Петербург, 14–15 мая 2020 г.). СПб.: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2020. С. 144–151.
22. Тарасова Т. Ю. Исполнение государственных и муниципальных контрактов: контроль, организация и отчетность // *Технология и организация строительства: материалы I Всерос. межвузов-*

ской науч.-практ. конф. молодых ученых, посвященной 80-летию основания кафедры «Строительное производство» (г. Санкт-Петербург,

14–15 мая 2020 г.). СПб.: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2020. С. 395–401.

REFERENCES

1. Prohorov S. V. Increase in level of energy efficiency of construction production on the basis of application of modern means of mechanization. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V. G. Shukhova = Bulletin of Belgorod State Technological of Higher University named after V. G. Shukhov*. 2017;8:70-74. (In Russ.).
2. Kuroptev A. S., Semenenko A. S. Energy-efficient construction: foreign and Russian experience. *Student Scientific Forum: materials of the VII International Student Scientific Conference*. Available from: <https://scienceforum.ru/2015/article/2015017452> [Accessed 09th November 2022]. (In Russ.).
3. Denisov V. N., Shatkov N. Yu. Device of thin heat protective coatings exterior walls in current repair. In: *Tekhnologiya i organizatsiya stroitel'stva: materialy I Vserossiiskoi mezhvuzovskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennoi 80-letiyu osnovaniya kafedry «Stroitel'noe proizvodstvo» = Technology and organization of construction: materials of the I All-Russian Interuniversity scientific and Practical conference of young scientists dedicated to the 80th anniversary of the founding of the Department "Construction Production"*. 14-15 May 2020, Saint-Petersburg. Saint-Petersburg: Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering; 2020. p. 131-134. (In Russ.).
4. Kirkin D. S. Analysis of energy efficiency of various structural systems in the construction of multi-storey buildings. In: *Tekhnologiya i organizatsiya stroitel'stva: materialy I Vserossiiskoi mezhvuzovskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennoi 80-letiyu osnovaniya kafedry «Stroitel'noe proizvodstvo» = Technology and organization of construction: materials of the I All-Russian Interuniversity scientific and Practical conference of young scientists dedicated to the 80th anniversary of the founding of the Department "Construction Production"*. 14-15 May 2020, Saint-Petersburg. Saint-Petersburg: Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering; 2020. p. 200-204. (In Russ.).
5. Bepalov A. A. An assessment and comparative study of modern thermal insulation systems. In: *Tekhnologiya i organizatsiya stroitel'stva: materialy I Vserossiiskoi mezhvuzovskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennoi 80-letiyu osnovaniya kafedry «Stroitel'noe proizvodstvo» = Technology and organization of construction: materials of the I All-Russian Interuniversity scientific and Practical conference of young scientists dedicated to the 80th anniversary of the founding of the Department "Construction Production"*. 14-15 May 2020, Saint-Petersburg. Saint-Petersburg: Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering; 2020. p. 232-237. (In Russ.).
6. Grigoriev V. V. Ventilated facades. Technology and organization of construction. In: *Tekhnologiya i organizatsiya stroitel'stva: materialy I Vserossiiskoi mezhvuzovskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennoi 80-letiyu osnovaniya kafedry «Stroitel'noe proizvodstvo» = Technology and organization of construction: materials of the I All-Russian Interuniversity scientific and Practical conference of young scientists dedicated to the 80th anniversary of the founding of the Department "Construction Production"*. 14-15 May 2020, Saint-Petersburg. Saint-Petersburg: Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering; 2020. p. 113-117. (In Russ.).
7. Langolf M. A. Method of restoring thermal technical characteristics of outdoor enclosing constructions of panel buildings. In: *Tekhnologiya i organizatsiya stroitel'stva: materialy I Vserossiiskoi mezhvuzovskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennoi 80-letiyu osnovaniya kafedry «Stroitel'noe proizvodstvo» = Technology and organization of construction: materials of the I All-Russian Interuniversity scientific and Practical conference of young scientists dedicated to the 80th anniversary of the founding of the Department "Construction Production"*. 14-15 May 2020, Saint-Petersburg. Saint-Petersburg: Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering; 2020. p. 269-273. (In Russ.).
8. Mosokina V. A. Problems of technology of energy-saving buildings. In: *Tekhnologiya i organizatsiya stroitel'stva: materialy I Vserossiiskoi mezhvuzovskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennoi 80-letiyu osnovaniya kafedry «Stroitel'noe proizvodstvo» = Technology and organization of construction: materials of the I All-Russian Interuniversity scientific and Practical conference of young scientists dedicated to the 80th anniversary of the founding of the Department "Construction Production"*. 14-15 May 2020, Saint-Petersburg. Saint-Petersburg: Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering; 2020. p. 269-273. (In Russ.).
9. Romanova A. O. Applying of liquid thermal insulation in the construction of buildings and installations. In: *Tekhnologiya i organizatsiya stroitel'stva: materialy I Vserossiiskoi mezhvuzovskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh uchenykh,*

posvyashchennoi 80-letiyu osnovaniya kafedry «Stroitel'noe proizvodstvo» = Technology and organization of construction: materials of the I All-Russian Interuniversity scientific and Practical conference of young scientists dedicated to the 80th anniversary of the founding of the Department "Construction Production". 14-15 May 2020, Saint-Petersburg. Saint-Petersburg: Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering; 2020. p. 224-229. (In Russ.).

10. Sivtsev P. S., Tymoshchuk O. A. Modern design solutions to improve the thermal protection of joints of three-layer reinforced concrete panels of the 112th series in Yakutsk. In: *Tekhnologiya i organizatsiya stroitel'stva: materialy I Vserossiiskoi mezhvuzovskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennoi 80-letiyu osnovaniya kafedry «Stroitel'noe proizvodstvo» = Technology and organization of construction: materials of the I All-Russian Interuniversity scientific and Practical conference of young scientists dedicated to the 80th anniversary of the founding of the Department "Construction Production"*. 14-15 May 2020, Saint-Petersburg. Saint-Petersburg: Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering; 2020. p. 343-347. (In Russ.).

11. Filatova Ju. A. Concept and technical solutions for multi-storey residential buildings with low energy consumption. In: *Tekhnologiya i organizatsiya stroitel'stva: materialy I Vserossiiskoi mezhvuzovskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennoi 80-letiyu osnovaniya kafedry «Stroitel'noe proizvodstvo» = Technology and organization of construction: materials of the I All-Russian Interuniversity scientific and Practical conference of young scientists dedicated to the 80th anniversary of the founding of the Department "Construction Production"*. 14-15 May 2020, Saint-Petersburg. Saint-Petersburg: Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering; 2020. p. 442-446. (In Russ.).

12. Yudina A. F., Golovina E. S. Optimization of data selection to ensure the thermophysical characteristics of building envelopes. In: *Tekhnologiya i organizatsiya stroitel'stva: materialy I Vserossiiskoi mezhvuzovskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennoi 80-letiyu osnovaniya kafedry «Stroitel'noe proizvodstvo» = Technology and organization of construction: materials of the I All-Russian Interuniversity scientific and Practical conference of young scientists dedicated to the 80th anniversary of the founding of the Department "Construction Production"*. 14-15 May 2020, Saint-Petersburg. Saint-Petersburg: Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering; 2020. p. 458-465. (In Russ.).

13. Shelekhov I. Yu., Smirnov E. I., Pakulov S. A., Glavinskaya M. M. Analysis of construction works in winter time. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*. 2017;6:99-102. (In Russ.).

14. Funk A.A. The construction of buildings and

structures in extremely climatic conditions: features of the organization of works and used materials. *Russian Journal of Transport Engineering*. 2018;5(4).6. (In Russ.). <https://doi.org/10.15862/06SATS418>.

15. Leontev S. V., Avdeev P. P., Gribkov G. V. The problems of winter concreting and ways of dealing. *Inzhenernyi vestnik Dona = Engineering journal of DON*. 2022;1:431-440. (In Russ.).

16. Sizov V. N. Construction works in winter conditions. Moscow: Gosstroizdat; 1958. 538 p. (In Russ.).

17. Usmanov P. Is it possible to build a frame house in winter. *House-building technologies*. Available from: https://domstroyteh.ru/blog/stroitelstvo-karkasnogo-doma-zimoy.html?sphrase_id=620 [Accessed 09th November 2022].

18. Bruce P. Building a house in winter. *Holz house*. Available from: <https://holz-house.ru/information/blog/65-stroitelstvo-doma-zimoi> [Accessed 09th November 2022].

19. Lazarev A. A., Garms E. V. Modeling of winter concrete technology by exact solutions of the differential equation obtained by the group analysis method. In: *Tekhnologiya i organizatsiya stroitel'stva: materialy I Vserossiiskoi mezhvuzovskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennoi 80-letiyu osnovaniya kafedry «Stroitel'noe proizvodstvo» = Technology and organization of construction: materials of the I All-Russian Interuniversity scientific and Practical conference of young scientists dedicated to the 80th anniversary of the founding of the Department "Construction Production"*. 14-15 May 2020, Saint-Petersburg. Saint-Petersburg: Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering; 2020. p. 219-231. (In Russ.).

20. Zanina E. V., Sokolnikov V. V. Methods of improving organizational and technological reliability of construction. In: *Tekhnologiya i organizatsiya stroitel'stva: materialy I Vserossiiskoi mezhvuzovskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennoi 80-letiyu osnovaniya kafedry «Stroitel'noe proizvodstvo» = Technology and organization of construction: materials of the I All-Russian Interuniversity scientific and Practical conference of young scientists dedicated to the 80th anniversary of the founding of the Department "Construction Production"*. 14-15 May 2020, Saint-Petersburg. Saint-Petersburg: Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering; 2020. p. 168-171. (In Russ.).

21. Zhakevich A. O., Tsarenko A. A. Factors impacting the success of construction management. In: *Tekhnologiya i organizatsiya stroitel'stva: materialy I Vserossiiskoi mezhvuzovskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennoi 80-letiyu osnovaniya kafedry «Stroitel'noe proizvodstvo» = Technology and organization of construction: materials of the I All-Russian Interuniversity scientific and Practical con-*

ference of young scientists dedicated to the 80th anniversary of the founding of the Department "Construction Production". 14-15 May 2020, Saint-Petersburg. Saint-Petersburg: Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering; 2020. p. 144-151. (In Russ.).

22. Tarasova T. Yu. Execution of state and municipal contracts: control, organization and reporting. In: *Tekhnologiya i organizatsiya stroitel'stva: materialy I Vserossiiskoi mezhvuzovskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh uchenykh,*

posvyashchennoi 80-letiyu osnovaniya kafedry «Stroitel'noe proizvodstvo» = Technology and organization of construction: materials of the I All-Russian Interuniversity scientific and Practical conference of young scientists dedicated to the 80th anniversary of the founding of the Department "Construction Production". 14-15 May 2020, Saint-Petersburg. Saint-Petersburg: Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering; 2020. p. 395-401. (In Russ.).

Сведения об авторах

А. К. Комаров,

кандидат технических наук,
доцент, заведующий кафедрой
строительного производства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: komarov@istu.edu
<https://orcid.org/0000-0002-1180-7171>

В. Е. Розина,

кандидат технических наук,
доцент кафедры строительного производства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: vikt.rozina@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-8744-4795>

П. А. Шустов,

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры строительного производства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: shupa@istu.edu
<https://orcid.org/0000-0003-2547-3579>

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 05.09.2022.
Одобрена после рецензирования 28.09.2022.
Принята к публикации 03.10.2022.

Information about the authors

Andrey K. Komarov,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Head of the Department of Construction
Production,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: komarov@istu.edu
<https://orcid.org/0000-0002-1180-7171>

Viktoria E. Rozina,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor
of the Department of Construction Production,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: vikt.rozina@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-8744-4795>

Pavel A. Shustov,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Construction Production,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: shupa@istu.edu,
<https://orcid.org/0000-0003-2547-3579>

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

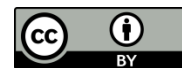
Conflict of interests

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

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

Information about the article

The article was submitted 05.09.2022.
Approved after reviewing 28.09.2022.
Accepted for publication 03.10.2022.



О выборе допустимых сечений проводникового материала внутренних электрических сетей при строительстве индивидуальных домовладений

Игорь Владимирович Наумов^{1,2}

¹Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

²Иркутский государственный аграрный университет имени А. А. Ежевского,

Иркутский р-он, пос. Молодежный, Россия,

professornaumov@list.ru

Аннотация. Целью является разработка программного комплекса, позволяющего исследовать применимость проводников разных сечений при монтаже внутренних электрических сетей в индивидуальном жилищном строительстве. В работе использовалась совокупность общенаучных методов: теории электрических цепей, численного анализа и визуализации графического редактора *Matlab*. Проведен анализ состояния индивидуального жилищного строительства в Иркутской области. Достоверно установлено, что одной из наиболее вероятных причин возгораний, связанных с сооружением внутренних электрических сетей индивидуальных домовладений, является несимметрия фазных токов, вызывающая дополнительные тепловые потери, способствующие возникновению пожароопасных ситуаций. Был выполнен тепловой расчет функционирования электрической сети при нормальных условиях эксплуатации, согласно которому получены выражения для определения предельно допустимых значений тока, протекающего в нулевом проводнике внутренней электрической сети дома. На основе разработанных алгоритмов и программ получены табличные значения предельных величин токов нулевой последовательности для различных сечений материала проводника и в разных температурных интервалах. На реальном примере доказана эффективность использования симметрирующих устройств для снижения последствий несимметричного электропотребления. По результатам исследования можно сделать вывод о том, что одним из наиболее эффективных способов снижения пожарной опасности в индивидуальных жилых домах является реализация мероприятий по симметрированию режимов работы внутренней электрической сети жилого дома. По результатам исследования получены данные, которые могут быть интересны специалистам строительных организаций, а также сотрудникам МЧС России, контролирующим состояние пожарной безопасности индивидуальных жилых домов.

Ключевые слова: несимметрия фазных токов, ток нулевой последовательности, короткие замыкания, пожарная опасность, симметрирующее устройство, перераспределение электрических нагрузок потребителей

Для цитирования: Наумов И. В. О выборе допустимых сечений проводникового материала внутренних электрических сетей при строительстве индивидуальных домовладений // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 4. С. 589–599. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-589-599>.

Original article

On the choice of allowable cross-sections of conductor material in internal electrical networks when building individual households

Igor V. Naumov^{1,2}

¹Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

²Irkutsk State Agrarian University named after A. A. Yezhevsky,

Irkutsky district, Molodezhnyy settlement, Russia,

professornaumov@list.ru

Abstract. In this work, a software package was developed in order to investigate the applicability of conductors having different cross-sections for installing internal electrical networks in individual households. A combination of general scientific methods, including circuit theory, numerical analysis and visualisation using MATLAB graphical editor, was used. The state of individual households in the Irkutsk region was analysed. It was confirmed that one of the most common causes of combustion associated with the construction of internal electrical networks of individual households involves unbalanced phase currents, leading to additional heat losses, which give rise to fire hazards. A thermal calculation of the electric network functioning under normal operating conditions was carried out in order to obtain expressions for determining the maximum permissible values of the neutral conductor current of the internal electrical network of the house. These algorithms and programs were used to tabulate the limit values of the zero sequence currents for different cross-sections of the conductor material and temperature ranges. The efficiency of using balanced/unbalanced converters to mitigate the negative effects of unbalanced power consumption was demonstrated by a field test. It can be concluded that one of the most efficient ways to reduce fire hazards in individual houses involves balancing the operating modes of the internal electrical network. The obtained data may therefore be used by construction organisations, as well as the Ministry of Emergency Situations of the Russian Federation, which monitors the fire safety of individual houses.

Keywords: phase current asymmetry, zero sequence current, short circuits, fire hazard, balancing device, redistribution of electrical loads of consumers

For citation: Naumov I. V. On the choice of allowable cross-sections of conductor material in internal electrical networks when building individual households. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2022;12(4): 589-599. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-589-599>.

ВВЕДЕНИЕ

В недавно опубликованных материалах исследований отмечалось, что последние годы характеризуются повышенным интересом граждан Приангарья к строительству индивидуальных жилых домов (ИЖД) [1].

При этом, в соответствии с Указом Президента РФ от 7 мая 2018 г. № 204¹, в Иркутской области активно реализуются два региональных проекта – «Жилье» и «Обеспечение устойчивого сокращения непригодного для проживания жилищного фонда», что позволило за первое полугодие 2021 г. в Иркутской области построить более 413 тыс. м² индивидуальных жилых домов². И, не смотря на тот факт, что в связи с известными событиями, произошедшими в нашей стране, в 2022 г. строительство частных домов в Иркутской области снизилось на 2%, в сравне-

нии с прошлым годом³, тем не менее, прогрессирующий рост ИЖД не минуем. Об этом можно судить по прогнозам Программы, рассчитанной до 2024 г., которая предусматривает увеличение строительства ИЖД в России с нынешних 30–36 до 40 млн м² в год⁴, а в 2030 г. планируется строительство не менее 50 млн м² ИЖД в год⁵.

Как отмечается в [1], возрастание доли использования деревянных конструкций при строительстве индивидуальных домовладений связано и с ростом опасности возгораний этих строений.

При этом нами неоднократно отмечалось, что наиболее часто случающейся причиной возгораний в строениях, имеющих трёхфазный ввод электропитания, является значительная несимметрия фазных токов, возникающая вследствие несбалансированного

¹О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года: указ Президента РФ // Правительство России: официальный сайт [Электронный ресурс]. URL: <http://static.government.ru/media/acts/files/0001201805070038.pdf> (05.10. 2022).

²Министерство строительства Иркутской области. Официальный сайт [Электронный ресурс]. URL: <https://irkobl.ru/sites/irkstroy/news/1228655/?type=original> (05.10. 2022).

³Строительство частных домов в Приангарье в 2022 году просело на 2% из-за экономической ситуации // Ирсити.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://ircity.ru/text/realty/2022/08/05/71545334/> (05.10.2022).

⁴Разработан проект программы по развитию индивидуального строительства в РФ // Специальный проект. Квадратный метр [Электронный ресурс]. URL: <https://rg.ru/2020/03/24/razrabotan-proekt-programmy-po-razvitiu-individualnogo-stroitelstva-v-rf.html> (05.10. 2022).

⁵Минстрой России разработал законопроект по развитию индивидуального жилищного строительства // Минстрой России [Электронный ресурс]. URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/press/minstroy-rossii-razrabotal-zakonoproekt-po-razvitiyu-individualnogo-zhilishchnogo-stroitelstva/> (05.10. 2022).

электропотребления группами электроприёмников (ЭП) во внутренней электрической сети ИЖД. Это обусловлено как неравномерным характером распределения ЭП по фазам трёхфазной электрической сети, так и случайным характером их коммутаций в процессе функционирования [2–4]. Вопросам несимметричного электропотребления в распределительных электрических сетях, а также внутренних электрических сетях индивидуальных жилищ, посвящено достаточное количество публикаций [5–18].

Как было отмечено ранее, возможность возникновения пожаров по указанной причине имеет место только в том случае, если ввод электрической энергии в помещение представлен трёхфазной системой напряжения. Если говорить о подобной проблеме в не столь отдалённом прошлом, следует отметить, что проблемы, как таковой, не существовало, поскольку индивидуальное жильё граждан в сельской местности получало электрическую энергию по неполнофазным (однофазным) ответвлениям, что, соответственно, не приводило к возникновению несбалансированных режимов.

В последние годы, с ростом индивидуальных домовладений и при развитии и многообразии современных электрических приемников, повышающих комфортность жизнеобеспечения граждан, практически каждый индивидуальный застройщик стремится осуществить трёхфазный ввод электрической энергии. Особенно актуальным и оправданным это стало в 2022 г., поскольку стоимость технологического подключения электропитания ИЖД возросла многократно (в 30 раз)⁶.

При трёхфазном (полнофазном) электропитании происходит значительный перегрев фазных проводников, поскольку, кроме токов прямой последовательности (соответствующих симметричному режиму), возникают дополнительные составляющие токов обратной и нулевой последовательности. Эти токи, протекая по фазным проводникам трёхфазной внутренней электрической сети ИЖД, осуществляют дополнительное выделение тепловой энергии.

При этом по нулевому рабочему и нулевому защитному проводнику (при использовании пяти проводной электрической сети)

будет протекать три тока нулевой последовательности, что в ещё большей степени способствует дополнительному тепловому перегреву.

Целью статьи является разработка методики и инструмента расчета предельных значений токов нулевой последовательности для различных сечений трёхфазных четырех- или пятипроводных изолированных проводников, используемых для электропередачи во внутренних электрических сетях коммунально-бытовых ИЖД.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач:

- установить зависимость между допустимым предельным значением тока нулевой последовательности и сечением проводника;
- рассчитать предельные значения токов нулевой последовательности, соответствующие принятым сечениям используемых линий электропередачи во внутренних (внутридомовых) и наружных электрических сетях 0,4 кВ;
- на основе реальных измерений в действующих сетях 0,4 кВ произвести расчет несимметричного режима и установить пороговые значения потоков нулевой последовательности для исследуемых участков наружных и внутренних (внутридомовых) электрических сетей;
- рассмотреть возможность использования симметрирующих устройств с автоматически изменяющимися параметрами в исследуемых электрических сетях для снижения последствий несимметричного электропотребления.

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Теоретическую и методологическую базу исследования представляют изложенные в научной литературе и специальной периодической печати различные подходы к механизму определения симметричных составляющих токов и напряжений при несимметричном электропотреблении, теория теплового баланса нагрева проводниковых материалов, научные труды российских ученых и специалистов по исследованиям несимметричных режимов работы электрических сетей, а также функционированию средств симметрирования.

Информационную базу исследования составили Указы Президента и Правительства

⁶О внесении изменений в статью 23² Федерального закона «Об электроэнергетике: федер. закон от 26 января 2022 г. // Официальный интернет-портал правовой информации [Электронный ресурс]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202202160009?index=0&rangeSize=1> (05.10.2022); О внесении изменений в некоторые акты Правительства РФ по вопросам технологического присоединения энергопринимающих устройств потребителей электрической энергии к электрическим сетям: постановление Правительства РФ от 30 июня 2022 г. № 1178 // Официальный интернет-портал правовой информации [Электронный ресурс]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202207010048> (05.10.2022).

РФ, Правила устройств электроустановок, аналитические материалы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет».

В работе применялась совокупность общенаучных методов, в том числе теории электрических цепей, методов численного анализа, методы программирования и визуализации графического редактора *Matlab*.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Математическая модель исследования

При протекании по нейтральному проводнику тока $I_N = 3I_0$, выделяется Джоулево количество тепловой энергии:

$$Q_1 = (3I_0)^2 \cdot r_{0N} \cdot l \cdot \tau. \quad (2)$$

С другой стороны выделенное тепло передается с поверхности нейтрального провода окружающему пространству. Условно (достаточно приближенно) можно считать окружающим пространством воздух, хотя на самом деле тепло будет передаваться внутри изолированного провода. С учетом принятого допущения будем считать, что тепло передается лучеиспусканием по следующему закону:

$$Q_2 = \varepsilon_{above} \cdot c_0 \cdot F_{Sur} \cdot \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \cdot \tau. \quad (3)$$

В выражениях (2) и (3), I_0 – ток нулевой последовательности; r_{0N} – удельное сопротивление материала нейтрального проводника; l – длина нейтрального провода; τ – время прохождения электропередачи; ε_{above} – приведенный коэффициент теплового излучения; F_{Sur} – площадь поверхности провода; T_1 и T_2 – температуры излучающей и принимающей поверхностей соответственно.

Допустимая температура нагрева излучающей поверхности, с учетом поправочного коэффициента⁷ для провода в резиновой (полихлорвиниловой) изоляции, составляет

$$T_1 = 65^\circ\text{C} + 273,15 = 338,15^\circ\text{K}.$$

Температура принимающей поверхности (при температуре среды, равной 20°C) составляет

$$T_2 = 20 + 273,15 = 293,15^\circ\text{K}.$$

$c_0 = 5,67 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ – коэффициент излучения абсолютно черного тела;

$$\varepsilon_{above} = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{\varepsilon_1} - 1 \right) + \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right)} - \text{приведенная}$$

степень черноты в замкнутой системе радиационного теплообмена, состоящей из двух серых тел⁸; ε_1 и ε_2 – интегральные степени черноты двух серых тел (материал проводника первого – полированный алюминий, изоляция проводника второго – полихлорвинил).

Основываясь на данных⁹, спустя определенное время количество теплоты, выделяемое в проводнике, будет уравниваться теплом, излучаемым с его поверхности. В соответствии с наступившим тепловым балансом можно определить максимальную величину тока нулевой последовательности, проходящего по нейтральному проводнику при несимметричном электропотреблении:

$$(3I_0)^2 \cdot r_{0N} \cdot l \cdot \tau = \varepsilon_{above} \cdot c_0 \cdot F_{Sur} \cdot \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \cdot \tau,$$

отсюда получаем

$$I_0 = \sqrt{\frac{\varepsilon_{above} \cdot c_0 \cdot F_{Sur} \cdot T}{9 \cdot r_{0N} \cdot l}}. \quad (4)$$

Подставляя (5) в (4), получим выражение для определения предельно допустимого тока нулевой последовательности для четырехпроводной трёхфазной линии электропередачи:

$$I_0 = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon_{above} \cdot c_0 \cdot \pi \cdot d \cdot T}{r_{0N}}}, \quad (5)$$

где $T = \left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4$, $F_{Sur} = \pi \cdot d \cdot l$.

Полученная зависимость (5) характеризует следующее. При расчете несимметричного режима работы конкретного участка электрической сети 0,38, на основе разработанных методов и программ [12, 13], производится расчет симметричных составляющих токов и напряжений прямой, обратной и нулевой последовательностей.

Сравнение полученных значений для токов нулевой последовательности с рассчитанным предельным значением по выражению (5) для выбранного сечения нейтрального проводника позволяет сделать заключение о соответствии этого сечения реальному уровню несимметричного электропотребления и о возникновении (или отсутствии) угро-

⁷Правила устройств электроустановок. Поправочные коэффициенты на токи для кабелей, неизолированных и изолированных проводов и шин в зависимости от температуры земли и воздуха // Блог электрика [Электронный ресурс]. URL: <https://lemzspb.ru/dopustimyye-temperatury-nagreva-izolirovannykh-provodov> (06.10.2022).

⁸Теплообмен излучением // Portal.tpu.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://portal.tpu.ru/SHARED/p/PNB/learning/Thermodynamics/Tab3/Lecture18.pdf> (06.10.2022).

⁹Электроснабжение, электрические сети – нагрев проводов электрическим током // Forca.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://forca.ru/knigi/arhiv/elektrosnabzhenie-elektricheskie-seti/Page-18.html> (06.10.2022).

зы воспламенения.

Алгоритм и результаты исследования

На основе представленных выражений (2)–(5) по алгоритму (рис. 1) разработана Программа расчета предельного значения тока нулевой последовательности для раз-

ных сечений нейтрального проводника, реализованная в *Matlab*.

Расчет, произведенный по указанной программе, позволил получить предельно-допустимые значения для тока в нейтральном проводе для проводников разных сечений из меди и алюминия (рис. 2, табл. 1).

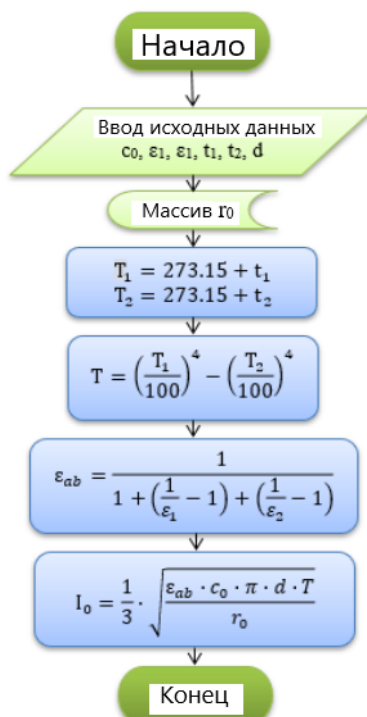


Рис. 1. Блок-схема алгоритма расчета допустимого тока нулевой последовательности

Fig. 1. The calculating permissible zero sequence current algorithm block diagram

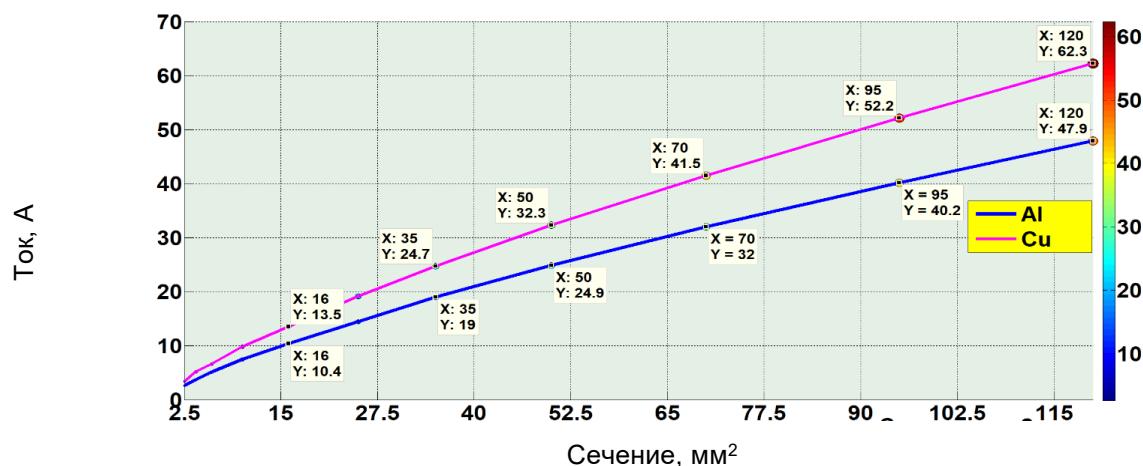


Рис. 2. Зависимость предельного значения тока нулевой последовательности в нейтральном проводнике с изоляцией из поливинилхлорида от его поперечного сечения

Fig. 2. Dependence of zero sequence current limit value in a neutral conductor with polyvinyl chloride insulation on its cross section

Полученные значения тока показывают, что в случае их превышения, температура поверхности нейтрального проводника превысит максимальное значение (65 °C), что приведет к нарушению изоляционных свойств проводника и соответствующим

условиям возникновения коротких замыканий и созданием пожароопасных ситуаций. Использование данных табл. 2 позволяет определить предельно-допустимое значение тока в нейтральном проводе для внутренних электропроводок зданий и сооружений.

Таблица 1. Предельные значения токовой нагрузки нейтрального проводника в трёхфазной четырёхпроводной линии электропередачи 0,4 кВ, выполненной изолированным проводником
Table 1. A neutral conductor current limit values in a three-phase four-wire 0.4 kV power transmission line made by an isolated conductor

Материал проводника	Сечение, мм ²	Предельно-допустимое значение тока (А) при значениях температуры окружающей среды												
		-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	
Al	2,5	3,30	3,23	3,17	3,09	3,02	2,93	2,84	2,74	2,63	2,50	2,37	2,22	
	4	4,70	4,61	4,52	4,41	4,30	4,18	4,05	3,90	3,74	3,57	3,38	3,16	
	6	6,36	6,24	6,11	5,97	5,82	5,66	5,48	5,28	5,07	4,83	4,57	4,28	
	10	9,37	9,20	9,01	8,80	8,58	8,33	8,07	7,78	7,47	7,12	6,73	6,30	
	16	13,12	12,87	12,60	12,31	12,00	11,66	11,29	10,89	10,45	9,96	9,42	8,82	
	25	18,19	17,85	17,48	17,08	16,64	16,17	15,66	15,10	14,49	13,82	13,07	12,24	
	35	23,80	23,35	22,87	22,35	21,78	21,16	20,49	19,76	18,96	18,08	17,10	16,01	
	50	31,21	30,62	29,99	29,30	28,55	27,75	26,87	25,91	24,86	23,70	22,42	20,99	
	70	40,14	39,38	38,56	37,68	36,72	35,68	34,55	33,32	31,97	30,48	28,84	27,00	
	95	50,50	49,55	48,52	47,41	46,21	44,90	43,48	41,92	40,22	38,35	36,28	33,97	
Cu	120	60,10	58,97	57,75	56,43	54,99	53,44	51,74	49,90	47,87	45,65	43,18	40,43	
	2,5	4,25	4,17	4,09	3,99	3,89	3,78	3,66	3,53	3,39	3,23	3,06	2,86	
	4	6,48	6,36	6,23	6,09	5,93	5,77	5,58	5,38	5,16	4,92	4,66	4,36	
	6	8,24	8,09	7,92	7,74	7,54	7,33	7,09	6,84	6,56	6,26	5,92	5,54	
	10	12,30	12,07	11,82	11,55	11,25	10,94	10,59	10,21	9,80	9,34	8,84	8,27	
	16	16,93	16,61	16,27	15,90	15,49	15,05	14,58	14,06	13,49	12,86	12,16	11,39	
	25	24,11	23,66	23,17	22,64	22,06	21,44	20,76	20,02	19,21	18,31	17,32	16,22	
	35	31,01	30,42	29,79	29,11	28,37	27,57	26,69	25,74	24,70	23,55	22,28	20,86	
	50	40,56	39,80	38,97	38,08	37,11	36,06	34,92	33,67	32,31	30,80	29,14	27,28	
	70	52,13	51,15	50,09	48,94	47,70	46,35	44,88	43,27	41,52	39,59	37,45	35,07	
	95	65,60	64,36	63,03	61,58	60,02	58,32	56,47	54,46	52,25	49,82	47,13	44,13	
	120	78,24	76,77	75,18	73,46	71,59	69,57	67,36	64,96	62,32	59,42	56,22	52,63	

Кроме того, предлагаемое программное обеспечение позволяет установить предельное значение тока в нейтральном проводе и для наружных электрических сетей 0,4 кВ в различных диапазонах температур окружающей среды (см. табл. 1). При этом использование данных табл. 1 может быть применено при осуществлении проектирования наружной электрической сети, питающей внутреннюю электрическую сеть ИЖД.

Для того чтобы проанализировать реальный режим несимметричного электропотребления в действующей внутренней электрической сети 0,38 кВ, воспользуемся данными измерений¹⁰.

Исследования осуществлялись с 17 по 21 декабря 2021 г. на вводно-распределительном устройстве ИЖД, в г. Иркутске. В качестве инструмента измерений использовался сертифицированный прибор «Ресурс – UF2M» (заводской № 2337).

Для расчета несимметричных режимов исследуемой сети использовалась компьютерная программа «Unbalance-Modul»¹¹, разработанная на основе методов [12, 13].

Указанная программа позволяет осуществить расчет показателей, определяющих уровень несимметричного электропотребления и, кроме того, реализует возможность использования специальных симметрирующих устройств.

Параметры такого устройства рассчитываются для каждого изменения несбалансированной нагрузки внутреннего электропотребления ИЖД.

Более подробно работа такого устройства рассмотрена в работах¹² [19].

На рис. 3 представлены временные диаграммы изменения тока нулевой последовательности во внутренней электрической сети ИЖД до и после включения симметрирующего устройства (СУ).

Таблица 2. Максимально-допустимое значение тока в нейтральном проводе трёхфазного четырехпроводной электрической сети для внутренних электрических проводов жилых зданий
Table 2. The maximum permissible the current value in the neutral wire of the three-phase four-wire electrical network for internal residential buildings electrical wiring

Сечение, мм ²	Значение максимального тока в нейтральном проводнике с алюминиевой жилой в ПХВ изоляции, А	Значение максимального тока в нейтральном проводнике с медной жилой в ПХВ изоляции, А
2,5	2,625119	3,411836
4	3,744561	5,228995
6	5,06812	6,563987
10	7,465301	9,796973
16	10,44642	13,48627
25	14,48978	19,20515
35	18,95858	24,69701
50	24,85739	32,30685
70	31,9688	41,51998
95	40,22467	52,24841
120	47,87216	62,32222

Анализ рис. 3 показывает, что ток нулевой последовательности за время исследования принимает различные значения от минимального, равного 0,89 А, до максимального – 7,01 А. Среднее значение этого тока за период измерения составило 3,52 А.

Следовательно, ток в нейтральном проводнике, равный трем токам нулевой после-

довательности, в среднем составляет 10,6 А. Учитывая тот факт, что измерения производились на вводно-распределительном устройстве в помещении, в котором средняя температура окружающего воздуха составляла 5 °С, а сечение нулевой жилы трёхфазного кабеля, распределяющего электроэнергию по внутренней электрической сети ИЖД,

¹⁰Исследования осуществлены на ВРУ 0,4 кВ ИЖД.

¹¹Свидетельство о государственной регистрации программы «Unbalance-Modul» расчета режимов работы действующих электрических сетей 0,38 кВ с трёхфазной несимметричной нагрузкой и симметрирующим устройством Программы для ЭВМ. № 2022667513 / И. В. Наумов, А. А. Митягин, С. В. Подъячих от 21.09.2022 г.

¹²Наумов И. В. Снижение потерь и повышение качества электрической энергии в сельских распределительных сетях 0,38 кВ с помощью симметрирующих устройств: дисс. ... д-ра техн. наук. Иркутск, 2002. 387 с.

составляло 6 мм², следовательно, на основании табл. 1, максимально допустимый ток

в нейтральном проводе кабеля, изготовленного из меди, не должен превышать 7,33 А.

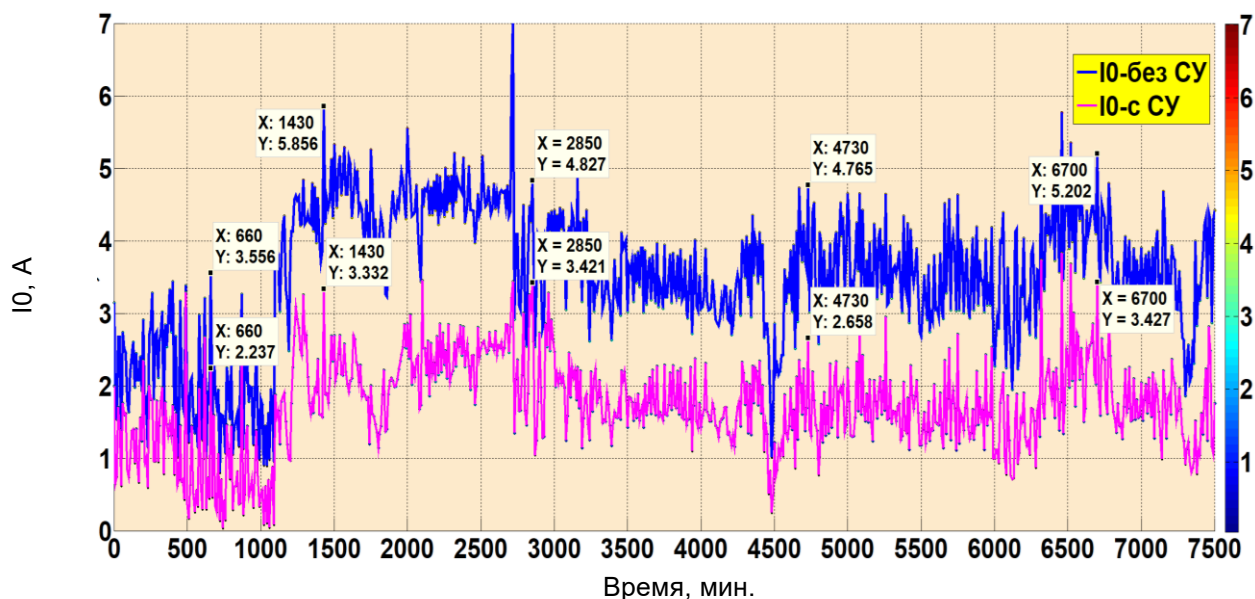


Рис. 3. Временные диаграммы изменения тока нулевой последовательности в исследуемой электрической сети 0,4 кВ до и после включения симметрирующего устройства

Fig. 3. Time diagrams of changes the zero-sequence current in the 0,4 kV electrical network under study before and after switching on the balancing device

Исходя из сказанного очевидно, что реальное среднее значение допустимого тока в нулевом проводнике превышает предельно допустимое более чем на 30%.

Это создает реальную угрозу нарушения теплового равновесия проводниковых материалов, т.е. перегрева изоляции, возможности возникновения короткого замыкания и соответствующего возгорания.

На рис. 3 также приведена временная диаграмма изменения тока нулевой последовательности в этой же электрической сети, при условии подключения в ней СУ. Как видно из диаграммы (рис. 3), в этом случае ток нулевой последовательности изменяется от минимального значения, равного 0,04 А, до максимального – 3,44 А. При этом среднее значение данного тока составит 1,73 А. Соответственно этому ток, протекающий в нулевом проводнике, составит 5,19 А. Как видно, это значение меньше предельно допустимого (7,33 А) почти на 30%.

Таким образом, для приведенного примера реальной работы действующей внутренней электрической сети индивидуального жилого дома возможны следующие способы предотвращения пожароопасных ситуаций:

а) на основании произведенных исследований произвести расчет, изготовление и установку симметрирующего устройства на вводно-распределительном устройстве

ИЖД;

б) произвести перераспределение однофазных нагрузок потребителей во внутренней электрической сети, что позволит снизить несбалансированность электропотребления по фазам сети и уменьшить ток нулевой последовательности в сети;

в) произвести замену существующего кабеля 6 мм² на кабель минимального сечения 10 мм² (на головном участке от вводно-распределительного устройства до группового распределительного силового щита).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании произведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Год от года происходит возрастание строительства индивидуальных жилых домов, основным строительным материалом которых служат деревянные конструкции.

2. Выполнение электрических проводок во внутренних электрических сетях индивидуальных домовладений производится без учета значительной несимметрии фазных токов в трёхфазной электрической сети, обусловленной несбалансированным электропотреблением в отдельных фазах. В результате этого нейтральный проводник внутренней электрической сети перегревается, что создает угрозу возгораний.

3. Создано программное обеспечение расчетов несимметричных режимов, на ос-

новании которого получены предельные значения тока нулевой последовательности для проводников разных сечений и материалов при их использовании в различных температурных интервалах.

4. Представлены результаты практического применения произведенных исследо-

ваний, на основании которых можно сделать вывод о целесообразности использования специальных симметрирующих устройств во внутренних электрических сетях индивидуальных домовладений как средства пожарной безопасности при использовании электроустановок в быту.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Наумов И. В. К вопросу пожарной безопасности при строительстве индивидуальных жилых домов // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 3. С. 350–361. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-3-350-361>.
2. Naumov I. V. Additional power losses in low-voltage electrical networks and their influence on people // European Proceedings of Social and Behavioural Sciences. Research Paradigms Transformation in Social Sciences. 2018. Vol 50. P. 844–853. <https://doi.org/10.15405/epsbs.2018.12.103>.
3. Naumov I. V. An analysis of fires due to violation of the rules for design and operation of electrical plants, and how to prevent them in residential buildings (on the example of the amur region) // EastConf-2019: International science and technology conference (Vladivostok, 1–2 March 2019). Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE); 2019. <https://doi.org/10.1109/EastConf.2019.8725407>.
4. Наумов И. В., Карамов Д. Н. К вопросу о возникновении пожароопасных ситуаций при несимметричном электропотреблении // Надежность и безопасность энергетики 2021. Т. 14. № 1. С. 69–76. <https://doi.org/10.24223/1999-5555-2021-14-1-69-76>.
5. Бортник Д. В., Орлов А. И., Волков С. В. Качество электрической энергии в низковольтных электрических сетях с коммунально-бытовой нагрузкой // Материалы XII Всеросс. науч.-техн. конф. с междунар. участием (Саранск, 15–16 марта 2017 г.) в рамках IV Всеросс. светотехн. форума / отв. ред О. Е. Железнякова; МГУ им. Н. П. Огарева. Саранск: ИД В. С. Афанасьева, 2017. С. 517–525.
6. Абдиева З. Э. Оценка влияния несимметрии нагрузки на потери электрической энергии в сетях 0,4 кВ // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2014. № 32-1. С. 157–159.
7. Козловская В. Б., Калечиц В. Н. Несимметричные режимы линий наружного освещения // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2019. Т. 62. № 3. С. 232–246.
8. Basmanov V. G., Votinsev A. V. Developing a Methodology for Calculating Asymmetric Modes of Power Supply Systems at Enterprises if Source Information Is Incomplete // Proceedings – 2021 International conference on industrial engineering, applications and manufacturing (Sochi, 17–21 May 2021). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/ICIEAM51226.2021.9446400>.
9. Ogunboyo P. T., Remy T., Davidson I. E. An Investigation of Voltage Quality in Low Voltage Electric Power Distribution Network under Normal Operation Mode // EAI International Conference for Research, Innovation and Development for Africa (Zimbabwe, Victoria Falls, 20–21 June 2017). ACRID. P. 254–265. <https://doi.org/10.4108/eai.20-6-2017.2270701>.
10. Наумов И. В. Симметрирование режимов работы внутренних электрических трёхфазных сетей как средство снижения пожарной опасности // Актуальные вопросы аграрной науки. 2021. № 38. С. 19–26.
11. Наумов И. В., Бастрон А. В. Исследование несимметричных режимов работы внутренних электрических сетей индивидуальных жилых домов в сельской местности // Вестник НГИЭИ. 2022. № 6 (133). С. 44–58. <https://doi.org/10.24412/2227-9407-2022-6-44-58>.
12. Наумов И. В. Метод и программа расчёта потерь мощности и показателей несимметрии токов и напряжений в распределительной сети 0,38 кВ с симметрирующим устройством // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. 1989. № 3. С. 30.
13. Косоухов Ф. Д., Гущинский А. Г., Колымцев М. В. Метод расчета потерь мощности и показателей несимметрии токов и напряжений в сельских электрических сетях 0,38 кВ при распределенной несимметричной нагрузке // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2012. № 26. С. 422–428.
14. Фетисов Л. В., Роженцова Н. В., Булатов О. А. Повышение качества электрической энергии в низковольтных сетях // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2018. Т. 20. № 11–12. С. 99–106. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2018-20-11-12-99-106>.
15. Жилин М. И., Воркунов О. В. Повышение качества электрической энергии // Приоритетные направления развития науки: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (г. Москва, 2 июня 2017 г.). Иркутск: ООО «Научное партнерство "Апекс"». 2017. С. 83–85.
16. Girshin A., Goryunov V., Kuznetsov E., Safonov D., Petrova E. Analysis of asymmetrical modes in medium voltage electrical grids with compensated neutral. MATEC web of conferences 2016 3rd Inter-

national conference on manufacturing and industrial technologies (ICMIT 2016). (Istanbul, 25–27 May 2016 г.). EDP Sciences; 2016. p. 10008. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20167010008>.
17. Xie Rongbin, Du Fan, Cheng Xiang, Zhou Qun, Xu Fangwei. Influence of three-phase imbalance and harmonic on line loss of three-phase four-wire low-voltage distribution network // *Power system protection and control*. 2020. Vol. 48. No 21. P. 22–30.
18. Дулепов Д. Е., Кондраненкова Т. Е. Снижение потерь и повышение качества электроэнергии в асимметричных режимах в сельских распределительных электрических сетях // *Электроэнергетика глазами молодежи: материалы VIII Международной научно-технической конференции* (Самара, 2–6 октября 2017 г.). Самара: Самарский государственный технический университет, 2017. С. 328–331.
19. Наумов И. В. К вопросу управления несимметричными режимами работы распределительных электрических сетей 0,38 кВ // *Промышленная энергетика*. 2022. № 5. С. 2–14. <https://doi.org/10.34831/EP.2022.25.51.001>.

РЕФЕРЕНСЫ

1. Naumov I. V. Revisiting the issue of fire safety in private housing construction. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(3):350-361. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-3-350-361>.
2. Naumov I. V. Additional power losses in low-voltage electrical networks and their influence on people. *European Proceedings of Social and Behavioural Sciences. Research Paradigms Transformation in Social Sciences*. 2018;50:844-853. <https://doi.org/10.15405/epsbs.2018.12.103>.
3. Naumov I. V. An analysis of fires due to violation of the rules for design and operation of electrical plants, and how to prevent them in residential buildings (on the example of the amur region). *EastConf-2019: International science and technology conference (INSPEC)*. Vladivostok, 1–2 March 2019. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE); 2019. <https://doi.org/10.1109/EastConf.2019.8725407>.
4. Naumov I. V., Karamov D. N. On the issue of the occurrence of fire-hazardous situations with asymmetric power consumption. *Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Safety and Reliability of Power Industry*. 2021;14(1):69-76. (In Russ.). <https://doi.org/10.24223/1999-5555-2021-14-1-69-76>.
5. Bortnik D. V., Orlov A. I., Volkov S. V. The quality of electric energy in low-voltage electric networks with household load. In the collection. *Materialy XII Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem v ramkakh IV Vserossiiskogo svetotekhnicheskogo foruma = Materials of the XII All-Russian Scientific and Technical Conference with international participation*. 15-16 March 2017, Saransk. Within the IV All-Russian Lighting Forum. O. E. Zheleznyakov (Eds.); Ogarev Mordovia State University. Saransk: PH V. S. Afanasyev; 2017. p. 517-525. (In Russ.).
6. Abdieva Z. E. Estimation of influence of unsymmetry of loading on the losses of electric energy in the networks of 0,4kV. *Izvestiya kyrgyzskogo Gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. I. Razzakova*. 2014;32-1:157-159. (In Russ.).
7. Kozlovskaya V. B., Kalechyts V. N. Asymmetrical

modes of outdoor lighting lines. *Energetika. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii i energeticheskikh ob"edinenii SNG = Energetika. Proceedings of cis higher education institutions and power engineering associations*. 2019;62(3):232-246. (In Russ.).
8. Basmanov V. G., Votinsev A. V. Developing a Methodology for Calculating Asymmetric Modes of Power Supply Systems at Enterprises if Source Information Is Incomplete. *Proceedings – 2021 International conference on industrial engineering, applications and manufacturing*. Sochi, 17–21 May 2021. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/ICIEAM51226.2021.9446400>.
9. Ogunboyo P. T., Remy T., Davidson I. E. An Investigation of Voltage Quality in Low Voltage Electric Power Distribution Network under Normal Operation Mode. *EAI International Conference for Research, Innovation and Development for Africa*. Zimbabwe, Victoria Falls, 20-21 June 2017. ACRID. P. 254-265. <https://doi.org/10.4108/eai.20-6-2017.2270701>.
10. Naumov I. V. Symmetrization of operating modes of internal three-phase electric networks as a means of reducing fire hazard. *Aktual'nye voprosy agrarnoi nauki = Actual issues of agrarian science*. 2021;38:19-26. (In Russ.).
11. Naumov I. V., Bastron A. V. Unbalancing modes investigation of the operation internal individual residential buildings electrical networks in rural areas. *Vestnik NGIEI = Bulletin NGIEI*. 2022;6:44–58. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/2227-9407-2022-6-44-58>.
12. Naumov I. V. Method and program for calculating power losses and indicators of current and voltage asymmetry in a 0.38 kV distribution network with a symmetrical device. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sotsialisticheskogo sel'skogo khozyaistva*. 1989;3:30. (In Russ.).
13. Kosoukhov F. D., Gushchinskii A. G., Kolymtsev M. V. A method for calculating power losses and indicators of current and voltage asymmetry in rural electric networks of 0.38 kV with a distributed asymmetric load. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestiya Saint-Petersburg state agrarian university*. 2012;26:422-428. (In Russ.).

14. Fetisov L. V., Rozhencova N. V., Bulatov O. A. Improving the quality of electric power in low voltage networks. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Problemy energetiki = Power engineering: research, equipment, technology*. 2018;20(11-12):99-106. (In Russ.). <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2018-20-11-12-99-106>.
15. Zhilin M. I., Vorkunov O. V. Improving the quality of electric energy. In: *Prioritetnye napravleniya razvitiya nauki: materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Collection of articles based on the materials of the international scientific and practical conference*. 2 July 2017, Moscow. Irkutsk: LLC "Scientific Partnership "Apex"; 2017. p. 83-85. (In Russ.).
16. Girshin A., Goryunov V., Kuznetsov E., Safonov D., Petrova E. Analysis of asymmetrical modes in medium voltage electrical grids with compensated neutral. MATEC web of conferences 2016 3rd International conference on manufacturing and industrial technologies (ICMIT 2016). Istanbul,

- 25–27 May 2016 r.. EDP Sciences; 2016. p. 10008. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20167010008>.
17. Xie Rongbin, Du Fan, Cheng Xiang, Zhou Qun, Xu Fangwei. Influence of three-phase imbalance and harmonic on line loss of three-phase four-wire low-voltage distribution network. *Power system protection and control*. 2020;48(21):22-30.
18. Dulepov D. E., Kondranenkova T. E. Eduction of loss and enhancement of electric energy quality in non-symmetric regimes in rural distribution electric networks. In: *Elektroenergetika glazami molodezhi: materialy VIII Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii = Electric Power Industry through the eyes of youth: Proceedings of the VIII International Scientific and Technical Conference*. 2-6 October 2017, Samara. Samara: Samara State Technical University; 2017. p. 328-331. (In Russ.).
19. Naumov I. V. On the control of asymmetric operation modes of 0.38-kV distribution electrical networks. *Industrial Power Engineering*. 2022;5:2-14. (In Russ.). <https://doi.org/10.34831/EP.2022.25.51.001>.

Информация об авторе**И. В. Наумов,**

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры электроснабжения
и электротехники,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
Иркутский государственный аграрный
университет им. А. А. Ежевского,
664038, Иркутский р-н,
пос. Молодежный, 1/1, Россия,
e-mail: professornaumov@list.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4767-0127>

Information about the author**Igor V. Naumov,**

Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Professor of the Department of Power Supply
and Electrical Engineering,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
Irkutsk State Agrarian University
named after A. A. Yezhevsky,
1/1 Molodezhnyy settlement, Irkutsk district,
664038, Russia,
e-mail: professornaumov@list.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4767-0127>

Вклад автора

Наумов И. В. провел исследование, подготовил статью к публикации и несет ответственность за плагиат.

Contribution of the author

Naumov I. V. has conducted the study, prepared the article for publication and bears the responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

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

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

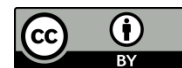
The final manuscript has been read and approved by the author.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 10.10.2022.
Одобрена после рецензирования 02.11.2022.
Принята к публикации 07.11.2022.

Information about the article

The article was submitted 10.10.2022.
Approved after reviewing 02.11.2022.
Accepted for publication 07.11.2022.



Особенности малоэтажного строительства Восточной Сибири

Лилия Геннадьевна Рудых

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

lili.rudih2011@yandex.ru

Аннотация. Целью является анализ проблем, возникающих при строительстве малоэтажных домов в Восточной Сибири в 2021–2022 гг., с учетом изменений, связанных с проведением специальной военной операции и многочисленными санкциями стран Европы и США в отношении России. Внимание уделяется характеристике основных технологий строительства малоэтажных домов. Обосновывается необходимость использования принципиально новых подходов к решению проблем внедрения объектов инженерной инфраструктуры, которые должны стать составляющими новых малоэтажных строительных проектов. Малоэтажные строения в 90% случаев представлены загородными частными деревянными домами, являющимися наиболее актуальными для проживания на территории с суровым климатом. Среди используемых строительных материалов следует назвать оцилиндрованное бревно, клееный профилированный брус, кирпич, ячеистый бетон, газобетон. Среди преимуществ деревянных построек следует назвать натуральность, экологичность и низкую теплопроводность. В связи с определенными недостатками в нормативно-правовой базе строительной отрасли, связанной с малоэтажным строительством, появилась острая необходимость совершенствования законодательства в этой сфере, а также усиление контроля над качеством работ. Представлены основные проблемы, среди которых: повышение цен на строительные материалы, снижение доходов населения, задержка сроков получения разрешения на строительство, слабая конкуренция и небольшое количество современного технологического оборудования. Определяются основные тенденции развития малоэтажного строительства, возможности современной строительной отрасли Восточной Сибири, ее перспективы и модернизация.

Ключевые слова: малоэтажное строительство, строительные эксперты, современные технологии, комплексная застройка, реконструкция, инженерная инфраструктура

Для цитирования: Рудых Л. Г. Особенности малоэтажного строительства Восточной Сибири // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 4. С. 600–605. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-600-605>.

Original article

Characteristics of low-rise construction in Eastern Siberia

Lilia G. Rudykh

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

lili.rudih2011@yandex.ru

Abstract. In this work, the issues arising during the construction of low-rise buildings in Eastern Siberia in 2021–2022 were addressed, including the changes associated with the special military operation and Western and the USA sanctions against Russia. Attention was paid to the characterisation of the main technologies used in the construction of low-rise buildings. The necessity of using novel approaches to solving the problems associated with the implementation of engineering infrastructure facilities, intended as components of new low-rise construction projects, was substantiated. 90% of low-rise buildings comprise private suburban wooden houses, most suitable for living in an area characterised by a harsh climate. Among the used construction materials, rounded logs, laminated veneer lumber, bricks, cellular concrete, and aerated concrete should be mentioned. Naturalness, environmental friendliness and low thermal conductivity are among the advantages of wooden constructions. Due to certain limitations of

the regulatory framework in the construction industry associated with low-rise buildings, it is necessary to improve legislation in this area, as well as strengthen control over the quality of work. The main issues were addressed, including rising prices for construction materials, a reduction in incomes, a delay in obtaining a building permit, weak competition and a small number of modern equipment. The main trends in the development of low-rise construction, the potential of the modern construction industry in Eastern Siberia, its prospects and modernisation were determined.

Keywords: low-rise construction, construction experts, modern technologies, complex development, reconstruction, engineering infrastructure

For citation: Rudykh L. G. Characteristics of low-rise construction in Eastern Siberia. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'* = *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(4):600-605. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-600-605>.

ВВЕДЕНИЕ

В 2021–2022 гг. малоэтажное строительство в Восточной Сибири оставалось достаточно популярным направлением домостроения.

Такой тип застройки является наиболее подходящим для средних и малых городов, в том числе и для загородного строительства. Темпы строительства требуют создания необходимой транспортной и инженерной инфраструктуры, но, к сожалению, сегодня она отстает. В связи с этим существует необходимость решения задачи комплексного освоения и развития территорий Сибири. Для эффективного решения проблем особую актуальность приобретают вопросы привлечения инвестиций, использование новых строительных технологий и современной техники. На смену хаотичной малоэтажной застройке должно прийти четкое комплексное планирование, которое используется для освоения новых территорий [1]. Современное малоэтажное жилье в Восточной Сибири – это, в основном, частные загородные дома. Малоэтажные жилые строения, находящиеся в черте городов, представлены в большинстве своем старой деревянной застройкой, которая медленно разрушается. На смену ей приходит многоэтажное и многоквартирное строительство. Несмотря на это спрос на малоэтажное строительство частных малоэтажных домов в России за 2020 г. вырос в 1,4 раза¹.

Согласно мнению строительных экспертов, этому росту способствовала вынужденная самоизоляция из-за COVID-19, в связи с этим преимущества частной застройки для многих жителей России стали очевидны. Благодаря опросу граждан России выяснилось, что часть из них считают загородные дома наиболее

предпочтительными для отдыха в период отпусков.

Большая территория Восточной Сибири и наличие значительного лесного массива позволяет многим жителям иметь собственные загородные дома. В связи с этим все чаще исключается необходимость покупки жилплощади в многоэтажных домах. Наиболее популярный запрос жителей Восточной Сибири – это малоэтажные дома в рекреационной зоне пригородных районов не далее 15–20 км от города с хорошей дорогой и налаженным сервисом [2]. Необходимо отметить главные требования к современной комплексной застройке в Восточной Сибири: обязательное наличие социальной и инженерной инфраструктуры, высокий уровень благоустройства, доступность транспортных средств [3]. Одним из немаловажных факторов, способствующих привлекательности малоэтажного строительства в Восточной Сибири по сравнению с многоэтажным строительством является желание людей жить не только в комфортной, но и в безопасной среде. Многие семьи, переезжающие из высотных домов в малоэтажные руководствуются в том числе и принципом безопасности. Иркутская область является зоной повышенной сейсмической активности, например, только в ноябре 2022 г. произошло несколько землетрясений и зафиксирована высокая сейсмическая напряженность. В декабре 2020 г. насчитывалось 35 регионов с объемами строительства свыше 500 тыс. м². Лидером по доле малоэтажного строительства в 2020 г. стала Иркутская область – 50%, где половину всего текущего строительства составили 224 здания, из них 111 домов не выше четырех этажей². В данном случае к

¹В России строительство частных домов выросло в 1,4 раза [Электронный ресурс] // RuNews24. URL: https://runews24.ru/realty/24/12/2020/c1e8edb9d74d890b6ad0e7eae25908fe?utm_source=yxnews&utm_medium=desktop (18.05.2021).

²Иркутская область стала лидером малоэтажного строительства в России [Электронный ресурс] // Долг.рф. URL: https://долг.рф/short_news/182216/ (18.05.2021).

малоэтажным домам относят, прежде всего, постройки не более трех этажей, состоящие максимум из десяти блоков, а также малоэтажные многоквартирные дома не более четырех этажей.

Второе место заняла Челябинская область с долей малоэтажного строительства – 32%. Третье место досталось Ленинградской области – 31%.

К сожалению, западные санкции в отношении нашей страны нанесли определенный ущерб строительной отрасли и оказали негативное воздействие на темпы малоэтажной застройки в Восточной Сибири, среди серьезных последствий санкций следует назвать следующие:

- рост цен на логистику, импортное сырье, стройматериалы, такие как кирпич, бетон, древесина и другие;
- рост финансовых затрат застройщиков и, следовательно, удорожание окончательной стоимости строительства;
- уход с рынка недвижимости мелких застройщиков;
- удорожание этапа отделки домов с использованием импортных материалов;
- нестабильная ситуация с поставками оборудования;
- часть высококвалифицированных специалистов была мобилизована в ходе спецоперации.

В арсенале правительства РФ сегодня имеется большое количество программ и проектов, направленных на решение вопросов развития и расширения строительства малоэтажного жилья³.

Малоэтажное жилье в Восточной Сибири в основном представлено определенными типами, которые учитывают региональные климатические особенности. Среди них следует выделить особенно популярные в 2021–2022 гг.:

1. Индивидуальные постройки до трех этажей – коттеджи и усадьбы.
2. Дома с небольшими участками земли, рассчитанными на нескольких владельцев – таунхаусы.
3. Менее популярные считаются многосекционные дома до четырех метров высотой⁴.

В Восточной Сибири наибольшим спросом

пользуются деревянные дома из оцилиндрованного бревна. Среди преимуществ малоэтажного деревянного домостроения необходимо назвать следующие:

- экологичность и безотходное производство;
- точность изготовления и высокое качество сборки;
- быстрый монтаж без привлечения тяжелой техники [4];
- универсальность основного материала (изготовление стен, лестниц, перекрытий).

Сегодня в строительной сфере используется много современных технологий, они позволяют архитекторам создавать оригинальные строительные конструкции с помощью, например, 3D-литья [9]. Такая технология позволяет изготавливать объемные блоки с готовыми фасадами, а потом из таких блоков собирать дома любой конструкции, этажности и формы. Новая технология 3D-литья очень актуальна для малоэтажного строительства, так как сокращает сроки постройки объектов.

Объемно-модульные технологии строительства используют комплект модулей с готовой наружной и внутренней отделкой, со всеми инженерными коммуникациями, полностью готовыми к монтажу и эксплуатации (рис. 1) [6]. Значительными возможностями обладает также малоэтажные строения из различных сэндвич-панелей (рис. 2) [7]. Особенно активно в 2021–2022 гг. начало развиваться строительство домов-конструкторов, позволяющих быстро и дешево возводить постройки из заранее подготовленных в заводских условиях деталей [8].

По мнению строительных экспертов, в связи с выделением земель под малоэтажную постройку в Восточной Сибири появилась масса проблем, ограничивающих возможности эффективного решения этого вопроса в ближайшем будущем [9]. К сожалению, в России имеются недостатки в нормативно-правовой системе⁵.

Можно назвать следующие проблемы городского строительства:

- отсутствие необходимой инженерной инфраструктуры, в том числе транспортной;
- отсутствие или малое количество необходимых инженерных коммуникаций, дорог,

³Программа развития индивидуального жилищного строительства в Российской Федерации // Нострой.ру [Электронный ресурс]. URL: https://nostroy.ru/news_files/2019/07/23/19.07.2019_26322-A1_07.pdf (18.05.2021).

⁴Виды малоэтажного строительства: разбираемся в классификации // Дорианс.ру [Электронный ресурс]. URL: <https://dorians.ru/blog/vidy-maloetazhnogo-stroitelstva/> (18.05.2021).

⁵Минстрой России подводит итоги 2020 года в области технического регулирования [Электронный ресурс] // Минстрой России. URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/press/minstroy-rossii-podvodit-itogi-2020-goda-v-oblasti-tehnicheskogo-regulirovaniya/> (18.05.2021).

больниц, детских садов, школ;

– высокая стоимость квадратного метра жилья [10];

– в современном сегменте малоэтажного строительства стали популярными региональные инвестиционные контракты, которые ори-



Рис. 1. Дом, собранный из модулей
Fig. 1. A house assembled from modules

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В соответствии с современными статистическими данными по Восточной Сибири можно сделать вывод о том, что строительство малоэтажного жилья активно развивается. Лидером по малоэтажному строительству в 2020 г. стала Иркутская область, где доля малоэтажной застройки составила 50%.

В статье были использованы общенаучные методы познания: индукция и дедукция, продвижение от абстрактного к конкретному, анализ и синтез, объяснение, аналогия, сравнение.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Строительство малоэтажных домов в Восточной Сибири в 2020–2021 гг. наращивает объемы. В городах и поселках строятся комплексы от экономичных до премиум-класса. Обычно их стоимость составляет от 50 до 150 тыс. руб. за м².

Важными остаются проблемы внедрения инженерной и социальной инфраструктуры, которая должна обеспечить комфортную среду. В целом, доля продаж в сегменте малоэтажного строительства в России снизилась, и это можно объяснить следующими причинами:

1. Повышение цен на строительные материалы в марте–апреле 2021 г.
2. Снижение доходов населения.
3. Нехватка инвестиций в небольших городах.
4. Задержка срока освоения застроенных участков земли.
5. Ограничение или отсутствие конкуренции.

ентированы, в первую очередь, на многоэтажные постройки.

В настоящее время Восточной Сибири необходимы принципиально новые подходы для решения проблем строительства и доступного, комфортного малоэтажного жилья.



Рис. 2. Дом, собранный из сэндвич-панелей
Fig. 2. A house assembled from sandwich panels

6. Задержка сроков получения разрешения на строительство.

В 2020–2021 гг., выбирая загородную недвижимость, жители Восточной Сибири активно пользовались ипотечными кредитами на строительство дома, в частности сельской ипотекой, стартовавшей в 2020 г. с выгодной ставкой 2,7%.

Для малоэтажного строительства в 2022 г. характерны нестабильные показатели, скачкообразный рост цен, отсутствие эффективных результатов плановой застройки.

ВЫВОДЫ

Малоэтажная, преимущественно индивидуальная застройка занимает большие территории городов Восточной Сибири и сопровождается определенными инженерными, транспортными и архитектурными проблемами. Многие жилые деревянные дома, находящиеся в черте города, являются постройками низкого качества и малопригодными для жилья, часть из них требует реконструкции.

В связи с этим возрастает необходимость совершенствования современного строительного законодательства и усиления контроля над качеством проводимых работ. Первая половина 2022 г., как отмечают строительные эксперты, характеризовалась повышением стоимости и снижением роста малоэтажного домостроения в Восточной Сибири, что связано, в первую очередь, с зарубежными санкциями и, соответственно, нарушением сроков строительства, а также импортной составляющей.

С середины 2022 г. в связи со стабилизацией ценовой политики в строительной отрас-

ли и снижением стоимости на основные виды стройматериалов малоэтажное строительство активизировалось, но делать выводы об успе-

хах малоэтажного домостроения пока рано, так как кризисные явления в этой отрасли еще очевидны.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Малышева А. Плюсы и минусы проектов КОТ (комплексного освоения территории) // СпБНово [Электронный ресурс]. URL: <https://spbbuilding.ru/plyusyi-i-minusyi-proektov-kot-kompleksnogo-osvoeniya-territorii/> (18.05.2021).
2. Бондаренко В. Индустриализация малоэтажного домостроения ломится в двери Минстроя России // Строительный эксперт [Электронный ресурс]. URL: <https://ardexpert.ru/article/19573> (18.05.2021).
3. Банников Д. Малоэтажное строительство в Сибири // Строительный эксперт [Электронный ресурс]. URL: <https://ardexpert.ru/article/12689> (18.05.2021).
4. Rudykh L. G. Specifics of wooden housing construction in Irkutsk // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Irkutsk, 4 December 2020). 2020. Vol. 751. P. 012093.
5. Леонович А. Инновационные технологии в строительстве малоэтажных объектов [Электронный ресурс] // Строительный эксперт. URL: <https://ardexpert.ru/article/14491> (18.05.2021).
6. Лукашенко Л. Э. Объемно-модульные системы в современном домостроении // Актуальные

- научные исследования в современном мире. 2019. № 11-1 (55). С. 140–144.
7. Болгарева Н. И., Тимошук О. А. Выбор оптимального метода монтажа сэндвич-панелей для зданий // Технология и организация строительства: материалы I Всерос. межвузовской науч.-практ. конф. (г. Санкт-Петербург., 14–15 мая 2020 г.). СПб.: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2020. 471 с.
8. Хомайко Л. Виды и особенности быстровозводимых зданий // Forum House [Электронный ресурс]. URL: <https://www.forumhouse.ru/journal/themes/80-mne-dom-i-bystro-bystrovozvodimye-doma-na-forumhouse> (18.05.2021).
9. Стефанович М. Ю. Малоэтажное жилищное строительство: особенности и проблемы развития в России // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). С. 505–507.
10. Потапова Ю. От каких факторов зависит стоимость жилья в Сибири? // Российская газета [Электронный ресурс]. URL: <https://rg.ru/2021/02/25/reg-sibfo/ot-kakih-faktorov-zavisit-stoimost-zhilia-v-sibiri.html> (18.05.2021).

REFERENCES

1. Malysheva A. Pros and cons of IOT projects (comprehensive development of the territory). *SpBNovo*. Available from: <https://spbbuilding.ru/plyusyi-i-minusyi-proektov-kot-kompleksnogo-osvoeniya-territorii/> [Accessed 18th May 2021].
2. Bondarenko V. Industrialization of low-rise housing construction is breaking at the door of the Ministry of Construction of Russia. *Construction expert*. Available from: <https://ardexpert.ru/article/19573> [Accessed 18th May 2021].
3. Bannikov D. Low-rise construction in Siberia. *Construction expert*. URL: <https://ardexpert.ru/article/12689> [Accessed 18th May 2021].
4. Rudykh L. G. Specifics of wooden housing construction in Irkutsk. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 4 December Irkutsk, 2020. 2020. Vol. 751. p. 012093.
5. Leonovich A. Innovative technologies in the construction of low-rise buildings. *Construction expert*. Available from: <https://ardexpert.ru/article/14491> [Accessed 18th May 2021].
6. Lukashenko L.E. Volumetric-modular systems in modern housing construction. *Actual scientific research in the modern world*. 2019;11-1(55):140-144.

7. Bolgareva N. I., Timoshchuk O. A. Choosing the optimal method for installing sandwich panels for buildings. In: *Tekhnologiya i organizatsiya stroitel'stva: materialy I Vserossiiskoi mezhvuzovskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Technology and organization of construction: materials of the I All-Russian Interuniversity Scientific and Practical Conference*. 14-15 May 2020, Saint Petersburg. Saint Petersburg: Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering; 2020. 471 p.
8. Khomaiko L. Types and features of prefabricated buildings. *Forum House*. Available from: <https://www.forumhouse.ru/journal/themes/80-mne-dom-i-bystro-bystrovozvodimye-doma-na-forumhouse> [Accessed 18th May 2021].
9. Stefanovich M. Yu. Low-rise housing construction: features and problems of development in Russia. *Molodoi uchenyi = Young scientist*. 2015;12(92):505-507.
10. Potapova Yu. What factors affect the cost of housing in Siberia? *Rossiyskaya Gazeta*. Available from: <https://rg.ru/2021/02/25/reg-sibfo/ot-kakih-faktorov-zavisit-stoimost-zhilia-v-sibiri.html> [Accessed 18th May 2021].

Информация об авторе

Л. Г. Рудых,

кандидат исторических наук, доцент,
доцент кафедры истории и философии,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: lili.rudih2011@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-0423-4958>

Вклад автора

Автор провел исследование, подготовил статью к публикации и несет ответственность за содержание.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 18.10.2022.
Одобрена после рецензирования 17.11.2022.
Принята к публикации 21.11.2022.

Information about the author

Lilia G. Rudykh,

Cand. Sci. (Hist.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of History and Philosophy,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: lili.rudih2011@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-0423-4958>

Contribution of the author

The author has conducted the study, prepared the article for publication and bears the responsibility for publication.

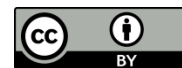
Conflict interests

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

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

Information about the article

The article was submitted 18.10.2022.
Approved after reviewing 17.11.2022.
Accepted for publication 21.11.2022.



Оценка сезонного водного баланса бассейна реки Абай в Эфиопии с использованием спутниковых баз данных и специализированной гидрологической модели

Виктор Романович Чупин¹, Агегнеху Китанбо Йоше²

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

²Университет Арба Минч, г. Арба Минч, Эфиопия

Автор, ответственный за переписку: Чупин Виктор Романович, chupinvr@istu.edu

Аннотация. Целью данной работы является исследование сезонного водного баланса бассейна р. Абай в Эфиопии с использованием спутниковых данных открытого доступа и гидрологической модели формирования водных ресурсов. Оценка водного баланса необходима для установления цен на воду и для оптимизации управления водными ресурсами. Проведенный анализ и теоретические исследования показали, что гидрологическое моделирование и дистанционное зондирование являются наиболее приемлемыми подходами для оценки водного баланса. В работе для оценки дефицита воды в засушливый период и избытка ее в сезон дождей были применены модели QGIS, на основе которых рассчитан сезонный водный баланс за шесть лет. При этом использовались метаданные GeoTIFF и дополнительная информация, включающая картографическую проекцию, системы координат, эллипсоиды, базовые данные, необходимые для установления точной пространственной привязки файла. Для анализа водного баланса потребовалась информация, включающая данные по испарению, осадкам, поверхностному стоку и по наземным запасам воды в бассейне р. Абай. Результаты расчетов показали, что в сезон дождей наблюдался существенный избыток воды, а в сухой сезон – ее дефицит. Полученные цифровые значения были использованы для моделирования времени засухи и наводнения, управления городскими дренажными системами и орошением в сельском хозяйстве.

Ключевые слова: QGIS, данные GLDAS, водный баланс, зональная статистика, сезонное изменение воды, сухой сезон, сезон дождей

Для цитирования: Чупин В. Р., Йоше А. К. Оценка сезонного водного баланса бассейна реки Абай в Эфиопии с использованием спутниковых баз данных и специализированной гидрологической модели // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 4. С. 606–616. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-606-616>.

Original article

Seasonal water balance of the Abay River Basin assessed using satellite databases and a specialized hydrological model

Viktor R. Chupin¹, Agegnehu K. Yoshe²

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

²Arba Minch University, Arba Minch, Ethiopia

Corresponding author: Viktor R. Chupin, chupinvr@ex.istu.edu

Abstract. The paper examines the seasonal water balance of the Abay River basin (Ethiopia) using open-access satellite data and a hydrological model representing the formation of water resources. The conducted analysis and theoretical studies indicate that hydrological modeling and remote sensing are the most appropriate tools for assessing water balance, which is essential for determining water prices and optimizing water resource management. In this work, QGIS models were applied to estimate water deficit during the dry season and water surplus during the rainy season, using those data to determine seasonal water balance for six years. To this end, the study employed GeoTIFF metadata and addi-

tional information, including a map projection, coordinate systems, ellipsoids, and baseline data necessary to establish the accurate spatial reference of the file. The water balance analysis required data on evaporation, precipitation, surface runoff, and surface water reserves in the Abay River basin. According to the calculation results, a significant surplus of water was noted during the rainy season and its deficit during the dry season. The obtained numerical data were used to model the timing of droughts and floods, as well as to manage urban drainage systems and agricultural irrigation.

Keyword: QGIS, GLDAS data, water balance, zonal statistics, seasonal water change, dry season, rainy season

For citation: Chupin V. R., Yoshe A. K. Seasonal water balance of the Abay River Basin assessed using satellite databases and a specialized hydrological model. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'* = *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(4): 606-616. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-606-616>.

ВВЕДЕНИЕ

Вода важна для жизни населения, так как используется для различных целей: бытовое и промышленное водоснабжение, производство гидроэлектроэнергии, ирригация, отдых, навигация, атмосферное охлаждение, выщелачивание соленой воды, разбавление загрязненной воды, рыболовство и восстановление прибрежных экосистем. Избыточное количество воды приводит к образованию болот и даже наносит вред экологии окружающей среды. Для оптимизации и эффективного управления водными ресурсами важно понимание процесса накопления воды во время сезона дождей и расходование их в сухой период года.

Эфиопия обладает высоким потенциалом водных ресурсов, и в то же время сталкивается с нехваткой воды для орошения и возделывания сельскохозяйственных культур и практически полностью зависит от дождевых осадков. При этом отсутствует эффективная система управления водными ресурсами, что приводит к нерациональному использованию воды для промышленных и сельскохозяйственных нужд. В настоящее время в Эфиопии на хозяйственные нужды используется менее 5% поверхностных вод, в то время как грунтовые воды не используются вообще [1]. Эфиопия является самой динамично развивающейся страной мира с ежегодным экономическим приростом в 9,5%. Правительство поставило амбициозную цель: к 2030 г. сделать Эфиопию самодостаточной страной с развитыми промышленностью и сельским хозяйством [2].

Для достижения этой цели потребуется существенное увеличение:

– объемов воды для снабжения городских

и сельских районов;

– производства сельскохозяйственной продукции за счет орошения;
– охвата гидроэлектростанциями;
– строительства многоуровневых водохранилищ. Для этого требуется провести оценку водных ресурсов и определить возможные объемы их использования без ущерба для всей экосистемы региона и континента.

Формирование и оценка водного баланса является ключевым вопросом для оптимизации использования водных ресурсов и эффективного управления ими. При этом требуется произвести оценку необходимых объемов воды для промышленности и сельского хозяйства в текущем и перспективном периодах реализации государственной программы реформирования¹. Оценка водного баланса необходима и для принятия решений о регулировании воды в водохранилищах и для снижения рисков наводнений в сезон дождей. При этом важны знания суточной потребности в воде для ее многофункционального использования. Формирование баланса также важно для удовлетворения спроса пользователей, расположенных как ниже, так и выше по течению реки. Оценка сезонных колебаний поверхностных вод позволяет определить характеристики временных колебаний воды в реке [3]. Мониторинг водных объектов, анализ изменения объемов воды дают представление о состоянии природных и сельскохозяйственных экосистем [4].

Перспективная оценка водного баланса улучшает знания о региональных и глобальных климатических изменениях и определяет влияние человека на водные ресурсы [5–8]. Изменение климата существенно зависит от

¹Giovanni – The Bridge Between Data and Science // Earthdata [Электронный ресурс]. URL: https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/#service=AcMp&starttime=2018-11-01T00:00:00Z&время_окончания=2019-0831T23:59:59Z&форма=state_dept_countries_2017/shp_71&&данные=TRMM_3B42RT_7_precipitation (21.11.2022).

состояния речного стока во влажные и сухие сезоны года [9]. Антропогенные и климатические изменения влияют на круговорот воды на поверхности земли и для понимания этих процессов требуются дополнительные исследования, моделирование и прогнозирование гидрологических режимов водных объектов [10]. Управление водными ресурсами – это понимание гидрологического цикла речного бассейна [11].

В Эфиопии насчитывается 12 речных бассейнов, важнейшим из которых является бассейн р. Абай (Голубой Нил). Начало р. Нил берет в Африке и является самой длинной рекой в мире [12].

Первая в мире цивилизация, применявшая орошение при выращивании сельскохозяйственных культур, возникла вокруг р. Нил [13]. Нил – трансграничная река, охватывающая водосборный бассейн 11 стран: Демократическая Республика Конго, Танзания, Бурунди, Руанда, Кения, Эфиопия, Эритрея, Южный Судан и Египет и впадающая в Средиземное море [14]. Голубой Нил расположен в северной части Эфиопии и является крупнейшим притоком р. Нил, имеет название Абай и вытекает из озера Тана. Озеро Тана расположено в северной части бассейна, и является крупнейшим пресноводным водоемом в Эфиопии [5].

Сток р. Абай формируется за счет сезонных дождей. Люди в бассейне реки сталкиваются с различными проблемами, в том числе с экстремальными наводнениями и засухой, при этом происходит потеря плодородной почвы и сокращается сельскохозяйственное производство.

Рост численности населения и хозяйственная деятельность оказали большое влияние на эрозию почвы и гидрологию бассейна реки [6], при этом прямое измерение всех компонентов водного баланса не проводилось, так как имеющихся данных недостаточно для его определения. В последние десятилетия спутниковое дистанционное зондирование успешно развивается и играет важную роль при оценке и управлении водными ресурсами. Спутниковые снимки позволяют провести анализ статистических и динамических процессов распределения поверхностных вод в бассейне реки² [9, 11, 16].

На основе современных радиометров производится визуализация с необходимым раз-

решением изображения в видимом инфракрасном диапазоне, что позволяет обнаруживать незначительные изменения поверхности воды в реальном режиме времени. Полученные и обработанные данные формируются в системе MODIS. На основе 8-дневных данных MODIS изучены и оценены изменения водной поверхности озер Китая с 2000 по 2010 гг. [2], на основе месячных данных изучены внутренние водные объекты Центральной Азии (с 1986 по 2012 гг.) [1].

В бассейне р. Абай были проведены различные исследования, такие как временная, пространственная и внутригодовая изменчивость климата.

На основе полученных данных в 1990 г. французскими специалистами по инженерным вопросам BECOM был разработан проект генерального плана комплексного освоения р. Абай. С этого момента началась инвентаризация природных и человеческих ресурсов в бассейне р. Абай, было выполнено описание существующих и перспективных систем природных ресурсов, разработаны модели устойчивого развития и управления водными ресурсами бассейна.

Однако люди, живущие вдоль этого бассейна, продолжают сталкиваться с засухой и наводнениями. Причиной этому является сезонные колебания водных ресурсов, которые не учитывались в водном балансе этого района. Для изучения сезонных колебаний воды в р. Абай на уровне бассейна, предлагается использовать данные модели GLDAS 2.1 и данные дистанционного зондирования за 6 лет – с апреля 2016 по февраль 2022 гг. и произвести их обработку с использованием алгоритма QGIS python.

МЕТОДЫ

Сезон дождей в Эфиопии начинается в апреле и заканчивается в сентябре. Сухой сезон длился с ноября по февраль. Но из-за топографических особенностей Эфиопии различия этих сезонов незначительные³. Эти климатические особенности были проанализированы в данной работе.

Речные данные были получены с помощью системы HydroRIVERS, которая представляет глобальную сеть всех рек мира, имеющих площадь водосбора от 10 км² и более со средним расходом, превышающим или равным 0,1 м³/сут. Данные дистанционного зондирования и оценки осадков (IMERG осадков,

²The World Bank in Ethiopia // The World Bank Group [Электронный ресурс]. URL: <https://www.worldbank.org/en/country/ethiopia/overview> at 10/21/2022; 1:28 (21.11.2022).

³Weather in Ethiopia: Climate, Seasons, and Average Monthly Temperature // TripSavvy [Электронный ресурс]. URL: <https://www.tripsavvy.com/ethiopia-weather-and-average-temperatures-4071422> (21.11.2022).

в мм/месяц с 2000-06-01 по 2021-09-30) получены с разрешением $0,1^\circ$ со спутника Giovanni⁴.

База данных MODIS была извлечена из приложения готовых образцов (Appears). Данные были доступны с 2001-01-01 по настоящее время⁵.

Информация о запасах воды на земле была собрана в ходе эксперимента по восстановлению гравитации и климата (GRACE TELLUS), и для этих данных JPL, GFZ, CGR GRACE Level-3 ежемесячный выпуск аномалии массы воды в эквиваленте толщины поверхности земли 6.0 версии 04, и доступность

данных с разрешением $0,1^\circ$ была с апреля 2002 по октябрь 2017 гг.⁶. Данные для формирования водного баланса на основе глобальной системы ассимиляции данных о земле (GLDAS 2.1) были получены с диска GES с разрешением $1 \times 1^\circ$ данных GLDAS для модели поверхности водосборного бассейна.

На основании ежемесячных данных, доступных по адресу $1^\circ \times 1^\circ$ с 2000-01-01 по 2022-08-01, сформированы модели водосбора-LSM вариант 2.1. Водораздел бассейна р. Абай был определен с использованием модели ArcGIS, и была сгенерирована соответствующая карта (рис. 1).

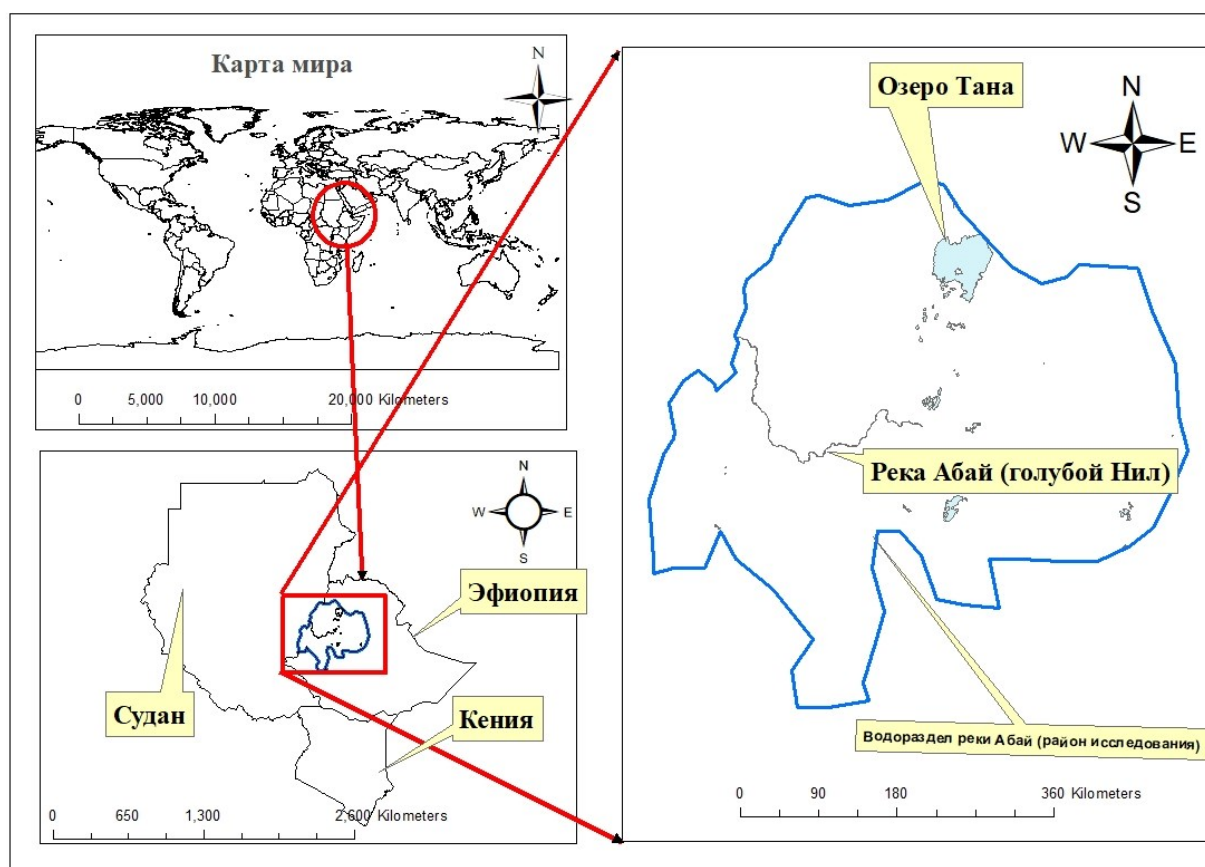


Рис. 1. Карта водосборной площади р. Абай
Fig. 1. Map of the catchment area of the Abay River

Для оценки сезонного водного баланса исследуемой территории был применен метод зонального статистического анализа модельного инструмента QGIS. На основе уравнения водного баланса была оценена сезонная изменчивость воды во влажный и сухой сезоны

времени за 6 лет. Общее уравнение водного баланса имеет следующий вид:

$$P - SR - TWS - ET = \Delta S, \quad (1)$$

где P – осадки; SR – поверхностный сток; TWS – наземные запасы воды; ET – испаре-

⁴Giovanni – The Bridge Between Data and Science // Earthdata [Электронный ресурс]. URL: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/> (21.11.2022).

⁵Earthdata login // Earthdatacloud.nasa.gov [Электронный ресурс]. URL: <https://appears.earthdatacloud.nasa.gov/task/area> (21.11.2022).

⁶Measuring Earth's Surface Mass and Water Changes // Jet Propulsion Laboratory [Электронный ресурс]. URL: <https://grace.jpl.nasa.gov/> (21.11.2022).

ние; ΔS – изменение запасов в течение сезона дождей. Исходными данными для формирования QGIS и оценки сезонного водного баланса были определены следующие данные: осадки, испарение, поверхностные запасы воды истока для влажного и сухого периодов года. Для GRACE такие данные (JPL, GFZ, CGR) формировались с помощью дистанционного зондирования. Однако непосредственное использование этих данных для оценки

сезонных изменений воды было затруднительным из-за недостаточной разрешающей способности растровых карт.

Потребовалось разработать специальные алгоритмы, позволяющие повысить точность распознавания космических снимков, включая растровый анализ (рис. 2 и 3) и классификацию данных по группам (рис. 4). Алгоритм работы с космическими съемками и базами данных представлен на рис. 5.

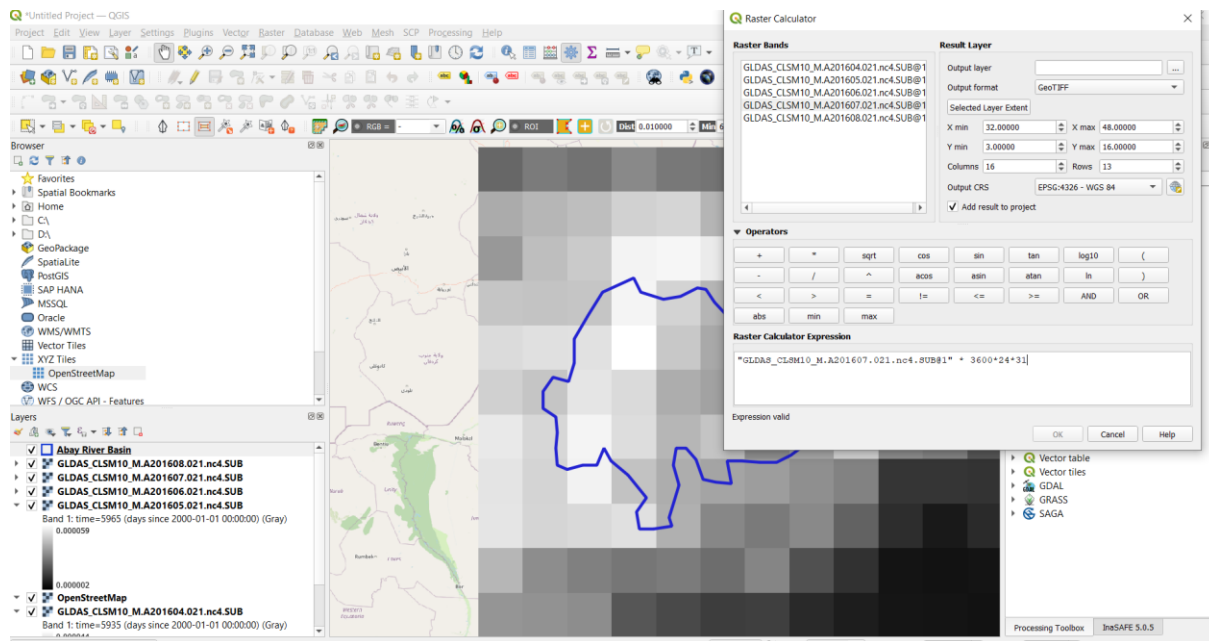


Рис. 2. Растровый анализ для оценки сезонного водного баланса бассейна реки Абай
Fig. 2. Raster analysis to assess the seasonal water balance of the Abay River Basin

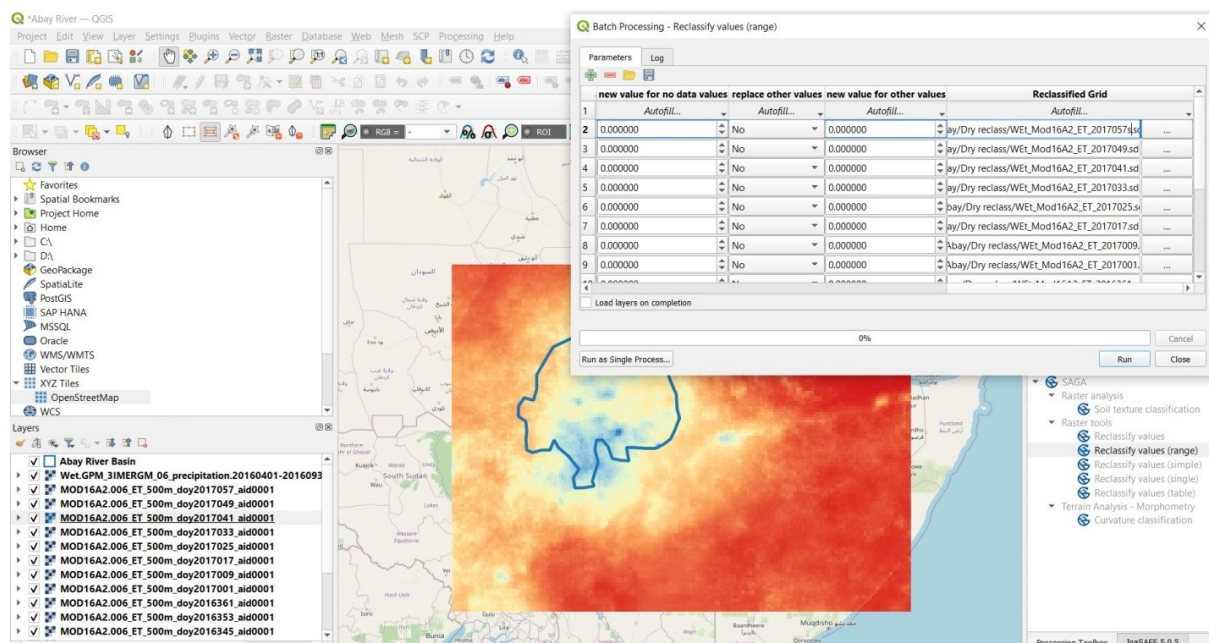


Рис. 3. Классификация данных по диапазонам картографирования
Fig. 3. Classification of data by mapping ranges

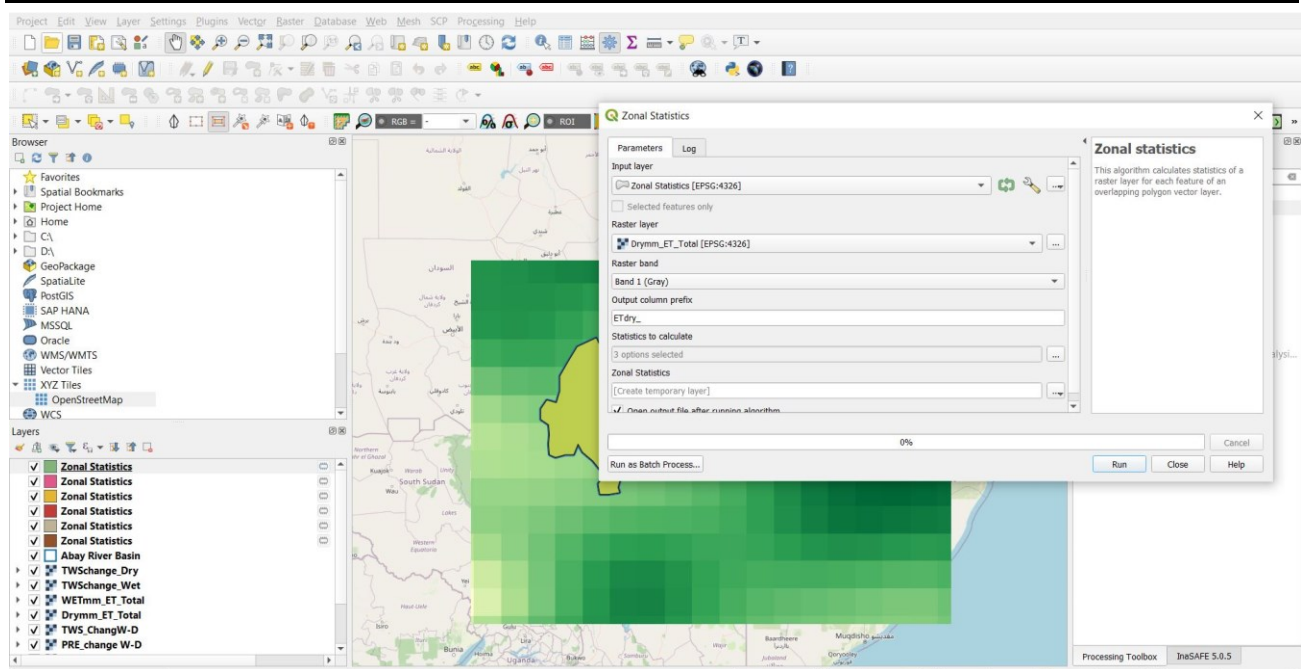


Рис. 4. Зональный статистический анализ
Fig. 4. Zonal statistical analysis



Рис. 5. Алгоритм оценки сезонного водного баланса
Fig. 5. Algorithm for estimating seasonal water balance

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для определения закономерностей формирования сезонных водных балансов для бассейна р. Абай они были рассчитаны за шесть лет, с апреля 2016 по февраль 2022 гг. Сезонные колебания воды оценивались с помощью уравнения водного баланса. Объемы были оценены путем умножения каждой ком-

поненты водного баланса на площадь водораздела. С помощью дистанционного зондирования и определения водного баланса были использованы имеющиеся данные только за 2016–2017 гг. Из-за их ограниченности для полной картины сезонных изменений воды использовались данные модели GLDAS. Результат расчетов представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты оценки водного баланса за год с апреля 2016 по февраль 2017 гг. с использованием данных дистанционного зондирования

Table 1. Results of the water balance assessment for the year from April 2016 to February 2017 using remote sensing data

using remote sensing data

Компоненты водного баланса	Сезон						Площадь, м ²
	влажный, значение (мм)			сухой, значение (мм)			
	Средн.	Мин.	Макс.	Средн.	Мин.	Макс.	
Осадки	1246,42	594,0	2259,099	44,73	2,0	299,2409	1,76205e+11
Испарение	344,752	57,5	714,7	107,9	0,3	577	
Наземные запасы воды	8,95	8,75	9,2	-59,5	-81,41	-33,6426	

На основе данных дистанционного зондирования (табл. 2) сезонное изменение воды для влажных условий составило 157,34 млрд м³, для сухого сезона – -0,65 млрд м³. Среднее количество осадков за сезон дождей в бассейне реки составило 219,63 млрд м³, а испарение – 60,75 млрд м³. Для сухого сезона среднее количество осадков по бассейну составило 7,9 млрд м³, а испарение 19,01 млрд м³. Расчетное минимальное количество осадков в 2022 г. составило 594 мм и 2,0 мм, соответственно, для влажного и сухого сезонов года. Расчетное максимальное количество осадков для влажного и сухого сезонов составило 2259,1 мм и 299,24 мм соответственно. Что касается испарения, расчетный максимум составил 714,7 мм и 577 мм для влажного и сухого сезона года соответственно; расчетное минимальное испарение составило 57,5 мм и 0,3 мм для влажного и сухого сезона соответственно. Средние запасы воды в засушливый

период оценивались в 8,95 мм, минимальные – 8,75 мм, максимальные – 9,2 мм, в сезон дождей, соответственно, средние -59,5 мм, максимальные -81,41 мм, минимальные -33,643 мм.

Таким образом, в сухой сезон наблюдался дефицит воды, а в сезон дождей – избыток. Этот результат очень важен для понимания гидрологического состояния речного бассейна и формирования устойчивого управления и оптимизации водными ресурсами региона. Что касается данных дистанционного зондирования, то компонент стока не был оценен, и в течение нескольких месяцев также наблюдались пробелы в данных. В связи с этим для дальнейшей оценки сезонного водного баланса он не использовался. Спрос на воду в бассейне р. Голубой Нил увеличивался среди пользователей верхнего и нижнего течения, и полученный результат был применим для различного водопользования в этом районе.

Таблица 2. Результаты оценки водного баланса за год с апреля 2016 по февраль 2017 гг. с использованием данных модели GLDAS

Table 2. Results of the water balance assessment for the year from April 2016 to February 2017 using GLDAS model data

Компоненты водного баланса	Сезон						Площадь в м ²
	влажный, значение (мм)			сухой, значение (мм)			
	Средн.	Мин.	Макс.	Средн.	Мин.	Макс.	
Осадки	949,04	692,2	1193,01	42,334	3,314	87,60	1,76205e+11
Испарение	530,014	367,6	665,253	187,52	68,5	415,31	
Наземные запасы воды	214,9	73,21	349,0	-109,3	-275,95	-37,93	
Поверхностный сток	196,6	70,27	336,13	3,01	0,001	7,93	

На основе данных GLDAS и QGIS (табл. 3) бы оценен дефицит воды для сухого сезона и

избыток воды для сезона дождей. Расчетные результаты показали, что сезонные колебания

уровня воды в сезон дождей составили 1,33 млрд м³, а в сухой сезон – -6,9 млрд м³. Отрицательный знак для сухого сезона показывает, что наблюдается дефицит воды и наступает засуха в бассейне реки. Расчетное среднее количество осадков за сезон дождей составило 167,23 млрд м³, а за сухой сезон – 7,50 млрд м³. Среднее испарение за сезон дождей составляет 93,4 млрд м³, а за сухой сезон – 33,05 млрд м³. Расчетное максимальное испарение для влажного сезона составило 665,253 мм, максимального значения для сухого сезона составило 415,31 мм, мини-

мальное значение испарения для влажного периода – 367,6 мм, сухого – 68,5 мм. Наземные запасы: среднее значение составляет 214,9 мм, минимальное значение – 73,21 мм, максимальное значение – 665,253 мм во время сезона дождей. Для сухого сезона расчетное накопление воды на суше составило – 109,3 мм для среднего значения, -275,95 мм для минимального и -37,93 мм для максимального значения в течение сухого сезона.

В 2022 г. во время сухого сезона возник фактический дефицит воды, который практически совпал с расчетным.

Таблица 3. Результат оценки водного баланса за год с апреля 2017 по февраль 2018 гг. с использованием данных модели GLDAS

Table 3. The result of the water balance assessment for the year from April 2017 to February 2018 using GLDAS model data

Компоненты водного баланса	Сезон						Площадь, м ²
	влажный, значение (мм)			сухой, значение (мм)			
	Средн.	Мин.	Макс.	Средн.	Мин.	Макс.	
Осадки	901,2	573,07	1245,3	35,8	7,6	71,6	1,76205e+11
Испарение	526,5	336,7	681,94	234,51	101,80	461,623	
Наземные запасы воды	194	97,2	381,82	-145,4	-324,63	-59,3	
Поверхностный сток	137,1	42,56	276,8	0,74	0,004	3,05	

В целом, в бассейне р. Абай был рассчитан сезонный водный баланс за шесть лет – с ноября 2016 г. по февраль 2022 г. (табл. 4), показавший, что в сезоны дождей возникают избыточные водные ресурсы (табл. 4, ст. 2), а в засушливый период – дефицит воды (табл. 4, ст. 3).

Таблица 4. Сезонный водный баланс в бассейне р. Абай

Table 4. Seasonal water balance in the Abay River Basin

Годы	Водные ресурсы, млрд м ³	
	Сезон	
	Влажный	Сухой
2016–2017	1,33	-6,9
2017–2018	7,68	-9,53
2018–2019	5,41	-7,34
2019–2020	6,8	-7,65
2020–2021	16,23	-10,97
2021–2022	9,68	3,56

Важнейшим инструментом для оценки водного баланса в бассейне является использование алгоритма QGIS python, позволяющего исследовать изменчивость водных ресур-

сов практически ежегодно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Ежегодная оценка сезонного водного баланса позволяет спрогнозировать объемы избыточной воды в период дождей и ее дефицит в сухой период года.

2. Разработана методика, позволяющая на основе картографирования и зондирования, использования QGIS системы и гидрологических моделей, рассчитывать текущие и перспективные водные балансы и оперативно решать вопросы их перераспределения, аккумуляции и использования в промышленности и сельском хозяйства ресурсов.

3. На основе разработанных моделей была проведена работа по формированию сезонных водных балансов бассейна р. Абай за шесть лет с ноября 2016 по февраль 2022 гг., и были определены объемы избытка воды в период дождей и ее дефицит в сухой период года.

4. Результаты проведенных исследований были использованы для оптимизации водопользования, проектирования водохранилищ, трубопроводов переброски воды и организации гидромелиоративных систем.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Velpuri N. M., Senay G. B., Asante K. O. A multi-source satellite data approach for modelling Lake Turkana water level: calibration and validation using satellite altimetry data // *Hydrology and Earth System Sciences*. 2012. Vol. 16. P. 1–18. <https://doi.org/10.5194/hess-16-1-2012>.
2. Ferguson H., Znamensky V. Methods of computation of the water balance of large lakes and reservoirs: A contribution to the International Hydrological Programme (Studies and reports in hydrology). Vol. I. Methodology. UNESCO. Paris: Studies and Reports in Hydrology, 1981.
3. Mahe G., Lienou G., Descroix L., Bamba F., Paturel J. E., Laroque A., et al. The rivers of Africa: witness of climate change and human impact on the environment // *Hydrological Processes*. 2013. Vol. 27. Iss. 15. P. 2105–2114. <https://doi.org/10.1002/hyp.9813>.
4. Sutcliffe J. V., Petersen G. Lake Victoria: derivation of a corrected natural water level series // *Hydrological Sciences Journal*. 2007. Vol. 52. Iss. 6. P. 1316–1321. <https://doi.org/10.1623/hysj.52.6.1316>.
5. Haregeweyn N., Tsunekawa A., Tsubo M., Meshesha D., Adgo E., Poesen J., et al. Analyzing the Hydrologic Effects of Region-Wide Land and Water Development Interventions: A Case Study of the Upper Blue Nile Basin // *Regional Environmental Change*. 2016. Vol. 16. P. 951–966. <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0813-2>.
6. Cherinet A. A., Yan D., Wang H., Song X., Qin T., Kassa M. T., et al. Impacts of Recent Climate Trends and Human Activity on the Land Cover Change of the Abbay River Basin in Ethiopia // *Advances in Meteorology*. 2019. P. 5250870. <https://doi.org/10.1155/2019/5250870>.
7. Tekleab S., Mohamed Y., Uhlenbrook S. Hydro-Climatic Trends in the Abey/Upper Blue Nile Basin, Ethiopia // *Physics and Chemistry of the Earth. Parts A/B/C*. 2013. Vol. 61-62. P. 32-42. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2013.04.017>.
8. Tefera A. H. Application of water balance model simulation for water resource assessment in upper blue Nile of north Ethiopia using hec-hms by GIS and remote sensing: case of Beles River basin // *International Journal of Hydrology*. 2017. Vol. 1. Iss. 7. P. 222–227. <https://doi.org/10.15406/ijh.2017.01.00038>.
9. Wagener T., Sivapalan M., Troch P. A., McGlynn B. L., Harman C. J., Gupta H. V., [et al.]. The future of hydrology: An evolving science for a changing world // *Water Resources Research*. 2010. Vol. 46. No. 5. P. 05301. <https://doi.org/10.1029/2009WR008906>.
10. Bracht-Flyr B., Istanbuloglu E., Fritz S. A hydro-climatological lake classification model and its evaluation using global data // *Journal of Hydrology*. 2013. Vol. 486. P. 376–383. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.02.003>.
11. Taboada-Castro M. M., Rodríguez-Blanco M. L., Taboada-Castro M. T. Assessment of seasonal variations in stream water by principal component analysis // *ECOSUD-2007. Ecology and the Environment*, 2007. Vol. 106. P. 10. <https://doi.org/10.2495/ECO070511>.
12. Belkhir L., Tiri A., Mouni L. Chapter 2. Assessment of heavy metals contamination in groundwater: A case study of the South of Setif Area, East Algeria. In book: *Achievements and Challenges of Integrated River Basin Management*. Eds. Dejan Komatina. 2018. P. 18–31. <https://doi.org/10.5772/intechopen.75734>.
13. Cherinet A., Yan D., Wang H., Song X., Qin T., Kassa M., [et al.]. Climate Trends of Temperature, Precipitation and River Discharge in the Abbay River Basin in Ethiopia // *Journal of Water Resource and Protection*. 2019. № 11. P. 1292–1311. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2019.1110075>.
14. Xianghong Che, Min Feng, Joe Sexton, Saurabh Channan, Qing Sun, Qing Ying, [et al.]. Landsat-Based Estimation of Seasonal Water Cover and Change in Arid and Semi-Arid Central Asia (2000–2015) // *Remote Sens*. 2019. Vol. 11. P. 1323. <https://doi.org/10.3390/rs11111323>.
15. Woodward J. C., Macklin M. G., Krom M. D., Williams M. A. J. Chapter 13. The Nile: Evolution, Quaternary River Environments and Material Fluxes. In: A. Gupta, Eds. Book: *Large Rivers: Geomorphology and Management*. Chichester: Wiley, 2007. P. 261–292. <https://doi.org/10.1002/9780470723722.ch13>.
16. Raja Shoaib Zahoor, Haider Bin Shakeel, Muzammil Munir, Hassan Raza. Assessment of groundwater quality for drinking purposes in Jhang city, Punjab // *International Journal of Hydrology*. 2022. Vol. 6. No. 5. P. 172–176.

REFERENCES

1. Velpuri N. M., Senay G. B., Asante K. O. A multi-source satellite data approach for modelling Lake Turkana water level: calibration and validation using satellite altimetry data. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2012;16:1-18. <https://doi.org/10.5194/hess-16-1-2012>.
2. Ferguson H., Znamensky V. Methods of computation of the water balance of large lakes and reservoirs: A contribution to the International Hydrological Programme (Studies and reports in hydrology). Vol. I. Methodology. UNESCO. Paris: Studies and Reports in Hydrology; 1981.
3. Mahe G., Lienou G., Descroix L., Bamba F. The rivers of Africa: witness of climate change and hu-

- man impact on the environment. *Hydrological Processes*. 2013;27(15):2105-2114. <https://doi.org/10.1002/hyp.9813>.
4. Sutcliffe J. V., Petersen G. Lake Victoria: derivation of a corrected natural water level series. *Hydrological Sciences Journal*. 2007;52(6):1316-1321. <https://doi.org/10.1623/hysj.52.6.1316>.
5. Haregeweyn N., Tsunekawa A., Tsubo M., Meshesha D., Adgo E., Poesen J., et al. Analyzing the Hydrologic Effects of Region-Wide Land and Water Development Interventions: A Case Study of the Upper Blue Nile Basin. *Regional Environmental Change*. 2016;16:951-966. <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0813-2>.
6. Cherinet A. A., Yan D., Wang H., Song X., Qin T., Kassa M. T., [et al.]. Impacts of Recent Climate Trends and Human Activity on the Land Cover Change of the Abbay River Basin in Ethiopia. *Advances in Meteorology*. 2019;5250870. <https://doi.org/10.1155/2019/5250870>.
7. Tekleab S., Mohamed Y., Uhlenbrook S. Hydro-Climatic Trends in the Abey/Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Physics and Chemistry of the Earth. Parts A/B/C*. 2013;61-62:32-42. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2013.04.017>.
8. Tefera A. H. Application of water balance model simulation for water resource assessment in upper blue Nile of north Ethiopia using hec-hms by gis and remote sensing: case of beles river basin. *International Journal of Hydrology*. 2017;1(7):222-227. <https://doi.org/10.15406/ijh.2017.01.00038>.
9. Wagener T., Sivapalan M., Troch P. A., McGlynn B. L., Harman C. J., Gupta H. V., et al. The future of hydrology: An evolving science for a changing world. *Water Resources Research*. 2010;46(5):05301. <https://doi.org/10.1029/2009WR008906>.
10. Bracht-Flyr B., Istanbuluoglu E., Fritz S. A hydro-climatological lake classification model and its evaluation using global data. *Journal of Hydrology*. 2013;486:376-383. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.02.003>.
11. Taboada-Castro M. M., Rodríguez-Blanco M. L., Taboada-Castro M. T. Assessment of seasonal variations in stream water by principal component analysis. *ECOSUD-2007. Ecology and the Environment*, 2007;106:10. <https://doi.org/10.2495/ECO070511>.
12. Belkhir L., Tiri A., Mouni L. Chapter 2. Assessment of heavy metals contamination in groundwater: A case study of the South of Setif Area, East Algeria. In: *Achievements and Challenges of Integrated River Basin Management*. Eds. D. Komatina. 2018. p. 18-31. <https://doi.org/10.5772/intechopen.75734>.
13. Cherinet A., Yan D., Wang H., Song X., Qin T., Kassa M., [et al.]. Climate Trends of Temperature, Precipitation and River Discharge in the Abbay River Basin in Ethiopia. *Journal of Water Resource and Protection*. 2019;11:1292-1311. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2019.1110075>.
14. Xianghong Che, Min Feng, Joe Sexton, Saurabh Channan, Qing Sun, Qing Ying, [et al.]. Landsat-Based Estimation of Seasonal Water Cover and Change in Arid and Semi-Arid Central Asia (2000–2015). *Remote Sens*. 2019;11:1323. <https://doi.org/10.3390/rs11111323>.
15. Woodward J. C., Macklin M. G., Krom M. D., Williams M. A. J. Chapter 13. The Nile: Evolution, Quaternary River Environments and Material Fluxes. In: A. Gupta, Eds. Book: Large Rivers: Geomorphology and Management. Chichester: Wiley; 2007. P. 261–292. <https://doi.org/10.1002/9780470723722.ch13>.
16. Raja Shoaib Zahoor, Haider Bin Shakeel, Muzammil Munir, Hassan Raza. Assessment of groundwater quality for drinking purposes in Jhang city, Punjab. *International Journal of Hydrology*. 2022;6(5):172-176.

Информация об авторах

В. Р. Чупин,
доктор технических наук, 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>

Information about the authors

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>

А. К. Йоше,
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>

Agegnehu 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>

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.

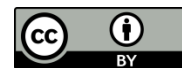
The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 21.11.2022.
Одобрена после рецензирования 30.11.2022.
Принята к публикации 01.12.2022.

Information about the article

The article was submitted 21.11.2022.
Approved after reviewing 30.11.2022.
Accepted for publication 01.12.2022.



Сохранение культурных объектов и историко-культурного потенциала архитектурно-градостроительного наследия г. Иркутска как фактор развития туристической отрасли региона

Арина Константиновна Майновская¹, Александр Николаевич Прокудин²

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

Автор, ответственный за переписку: Майновская Арина Константиновна, daarishka99@gmail.com

Аннотация. Цель – проанализировать историко-культурный потенциал центра г. Иркутска, рассмотреть понятия уникальности и идентичности городской среды. Изучить возможности и имеющийся опыт коммерциализации зданий-памятников и необходимых для этого мероприятий. В процессе работы были выявлены особенности объектов культурного наследия г. Иркутска, его основные архитектурные доминанты и туристические точки притяжения. Также рассмотрены архитектурно-планировочные особенности застройки исторического центра г. Иркутска и типология зданий, являющихся историко-культурным наследием разной степени значимости. Определены понятия идентичности и подлинности застройки г. Иркутска. Сформулировано предложение по развитию исторической застройки, опирающееся на тенденцию коммерциализации использования объектов культурного наследия (в том числе деревянной застройки) в сфере туризма (временное размещение), общественного питания, торговли (сувенирные лавки и т. п.). Для привлечения внимания к потенциально подходящим объектам предлагается разработать новые туристические маршруты для г. Иркутска, объединяющие кварталы с сохранившимися подлинными объектами уникальной исторической застройки. Представлена схема маршрута из выпускной квалификационной работы направления подготовки «Реконструкция и реставрация архитектурного наследия» Иркутского национального исследовательского технического университета (автор – А. К. Майновская, руководитель – А. Н. Прокудин).

Ключевые слова: историко-культурный потенциал, объекты культурного наследия, архитектура, историческая застройка, туризм

Для цитирования: Майновская А. К., Прокудин А. Н. Сохранение культурных объектов и историко-культурного потенциала архитектурно-градостроительного наследия г. Иркутска как фактор развития туристической отрасли региона // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 4. С. 617–623. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-617-623>.

Original article

Irkutsk's architectural and urban heritage: preservation of its cultural sites and historical-cultural potential as a factor in regional tourism development

Arina K. Mainovskaya¹, Alexandr N. Prokudin²

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

Corresponding author: Arina K. Mainovskaya, daarishka99@gmail.com

Abstract. The paper aims to analyze the historical-cultural potential of the Irkutsk city center, to consider the uniqueness and identity of its urban environment, as well as to explore the opportunities and experiences associated with the commercialization of historical buildings and relevant measures. The specifics of Irkutsk's cultural heritage, its architectural landmarks, and tourist attractions are discussed in the study. In addition, the work examines the historical center of Irkutsk in terms of its architectural and space-planning features, along with the typology of buildings, comprising the historical and cultural heritage of varying significance. The concepts of identity and authenticity in Irkutsk's development are defined. As part of the historical site development, it is proposed to commercialize cultural heritage (in-

cluding wooden structures) through tourism (temporary accommodation), food service, and trade (gift shops, etc.). In order to attract attention to potentially suitable sites, it is suggested to develop new tourist routes connecting Irkutsk's quarters that feature historical buildings preserved in their original state. The study presents a route plan proposed in a graduation thesis within the training program *Reconstruction and Restoration of Architectural Heritage* at the Irkutsk National Research Technical University (author – A. K. Mainovskaya; supervisor – A. N. Prokudin).

Keywords: historical and cultural potential, cultural heritage sites, architecture, historical buildings, tourism

For citation: Mainovskaya A. K., Prokudin A. N. Irkutsk's architectural and urban heritage: preservation of its cultural sites and historical-cultural potential as a factor in regional tourism development. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'* = *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(4):617-623. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-617-623>.

ВВЕДЕНИЕ

Многие регионы Российской Федерации ориентированы на формирование туристической отрасли, поскольку она является одним из ведущих социально-экономических направлений развития [1].

Иркутская область является одним из лидеров туристической отрасли среди регионов Сибирского Федерального округа и входит в первую десятку регионов-лидеров по приему туристов в России, что обусловлено наличием на территории региона уникальных природно-рекреационных ресурсов, в первую очередь, оз. Байкал, а также значительным культурно-историческим потенциалом и разнообразием этнических культур¹. За последние 5 лет отмечаются высокие темпы роста туристских прибытий в г. Иркутск и Иркутскую область.

По данным Росстата, с января по август 2022 г. регион посетили более 646 тыс. чел. Интерес туристов к городу оказывает положительное влияние на его имидж и развитие. Основные объекты размещения туристов (отели, гостиницы, хостелы и т.д.) находятся в центральной части города, что позволяет оценить историко-культурное наследие города в пешей доступности [2]. Самым популярным пешеходным туристическим маршрутом в г. Иркутске является «Зеленая линия». Этот маршрут объединяет 30 достопримечательностей, составляющих композиционный каркас города и его архитектурно-историческую среду (рис. 1). Несмотря на стремительное развитие, городу удалось сохранить узнаваемый силуэт застройки и важные композиционно-видовые связи (панорамы). Здания-памятники, являющиеся архитектурными акцентами, доминантами, туристическими точками притяжения: Крестовоздвиженская цер-

ковь (Седова, 1), Казанская церковь (Баррикад, 34/1), Русско-Азиатский банк (ул. Ленина, 38), Спасская церковь (Сухэ-Батора, 2), Собор Богоявления (Сухэ-Батора, 1а), Московские ворота (восстановлены в створе ул. Декабрьских Событий). Сохранение панорам исторической застройки определяется не только состоянием акцентов и доминант, но и сохранностью малоэтажной рядовой деревянной застройки [3]. От степени сохранности объектов культурного наследия, от уровня развития и благоустройства городских территорий зависит увеличение туристической активности и одновременно выявление уникальности образа г. Иркутска.

МЕТОДЫ

Рассматривая тему историко-культурного потенциала города, стоит упомянуть и о так называемой «архитектурной идентичности». Она складывается из нескольких составляющих: культурные (история, традиции, ремесла), географические (используемые на конкретной местности строительные материалы, климат, ландшафт) и архитектурные (плотность застройки, пропорции, стилевые характеристики и особенности) [4].

В совокупности эти составляющие (уникальные для каждой местности) образуют конкретный, узнаваемый образ города (поселка, региона и т.п.), его характеристики, которая напрямую влияет на представление этой местности людьми – идентификацию [5]. Идентичность архитектуры Иркутска состоит из нескольких типов объектов, выделяемых, например, по использованному строительному материалу:

– малоэтажные деревянные дома с резным декором (с особенно проработанным декором карнизно-фризовых поясов, с разнообраз-

¹Стратегия социально-экономического развития Иркутской области на период до 2036 года // Правительство Иркутской области: официальный портал [Электронный ресурс]. URL: <https://irkobl.ru/sites/economy/socio-economic/proiect2036/> (22.09.2022).

разными наличниками оконных и дверных проемов, ставнями);

– каменные здания, расположенные преимущественно на центральных улицах города: Карла Маркса, Ленина, Урицкого, бульвар Гагарина, со стилистическими элементами и приемами классицизма, неоклассицизма, эклек-

тики в лепном декоре оштукатуренных фасадов 2–4-этажных зданий);

– кирпичные здания, в том числе с характерным для периода эклектики использованием на фасадах лицевого кирпича, с элементами «неорусского», «мавританского», «неоготического» стилей.



Рис. 1. Пешеходный туристический маршрут «Зеленая линия» в г. Иркутске, автор – А. К. Майновская, руководитель – А. Н. Прокудин

Fig. 1. Pedestrian tourist route "Green Line" in Irkutsk, author – A. K. Mainovskaya, supervisor – A. N. Prokudin

Исторический центр г. Иркутска обладает особой историко-архитектурной ценностью благодаря своей уникальности, подлинности и идентичности застройки. Основой идентичности исторического Иркутска является деревянная архитектура, памятники деревянного зодчества, сохранившиеся целые кварталы исторической застройки. Но именно подлинность самих зданий-памятников, архитектурных ансамблей, фрагментов застройки исторического центра города является ключевым критерием ценности объектов культурного наследия². Под понятием подлинности понимается набор материальных (форма, материал, окружение) и нематериальных свойств

объекта (функция, местоположение в среде, восприятие) [6]. Подлинность материально-пространственной структуры (ансамбля, фрагмента застройки) памятника определяет его ценность.

Также важнейшей составляющей ценности города является его архитектурно-планировочная структура². С течением времени город растет, увеличивается площадь территории и плотность застройки, эволюционирует и развивается планировочная сеть кварталов и их застройка. Уникальная планировочная структура Иркутска с особыми, отличающимися планировочными фрагментами является материальным «носителем», источ-

²Большаков А. Г., Беломестных С. С. Морфогенез архитектурно-планировочной структуры и принципы реконструкции исторического центра г. Иркутска: учеб. пособие. Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2018. 182 с.

ником информации об его истории, преобразованиях и основой идентичности города. К устойчивым, узнаваемым относится и сохранившийся на сегодняшний день, почти без изменений, квартально-периметральный тип застройки, преобладающий в исторической части города и формировавшийся еще с середины XVIII в.

Идентичность и комфортная среда города определяется в том числе и по его визуальному восприятию. Композиционно-видовые панорамы г. Иркутска представлены доминантными объектами, церковными и храмовыми ансамблями, формирующими систему

пространственных ориентиров городской среды.

Объекты, являющиеся визуальными доминантами, распределяются в структурной решетке города, фиксируя узловые точки пересечения улиц, кварталов, торговых путей и определяя основные направления движения [7].

Сравнение исторических и современных панорам г. Иркутска помогает идентифицировать утраченные доминанты, исключение которых из композиционно-видовой среды города негативно сказывается на целостности и идентичности его восприятия (рис. 2).



Рис. 2. Утраченные доминанты г. Иркутска
Fig. 2. Lost dominants of the city of Irkutsk

Трансформации и изменения в визуальных панорамах города напрямую влияют на идентификацию архитектурной и градостроительной уникальности. Вместе с тем, с середины XX в. активно происходит процесс утраты объектов культурного наследия. Это приводит к потере архитектурно-планировочной целостности и полноценности объемно-пространственных структур центральной части г. Иркутска. На месте утраченных объектов возводятся новые здания, как правило,

диссонирующие с окружающей застройкой и несомасштабные по пропорциям и высоте. Данная тенденция приводит к нарушению массо-пустотной схемы застройки, искажению параметров, а также потере качества и формы среды в кварталах исторического центра города². Таким образом, для полноценного развития городской среды необходимо бережное отношение к сохранению, с минимальными вмешательствами в сложившуюся градостроительную ткань, с учетом высотных парамет-

ров, композиции и стилевых особенностей зданий-памятников.

Разрушение памятников архитектуры в городах связано с тем, что у города/региона недостаточно средств для их восстановления и содержания, а у инвесторов, в свою очередь, нет понимания того, как можно такие здания использовать для получения прибыли.

В качестве примера решения такой задачи рассмотрим опыт г. Коломна. Для решения проблем утраты объектов культурного наследия для них были разработаны инвестиционные паспорта. В них описан коммерческий потенциал объекта с вариантами его приспособления под различные функции: торговля, жилье, кафе, гостиницы и т.п., рассчитаны инвестиционные издержки на проектные и реставрационные работы, определены предварительные предметы охраны. На основе всего перечисленного выше предложены существующие меры поддержки со стороны государства. Для разработки инвестиционных паспортов были использованы результаты обследования, а также маркетингового, исторического и градостроительного анализов. Кроме того, на привлекательность памятников архитектуры для бизнеса в Коломне повлияли успешные проекты их коммерциализации.

В г. Иркутске также существуют удачные примеры коммерческого использования объектов культурного наследия, например: Арт-завод «Доренберг», Иркутский областной историко-мемориальный музей декабристов (размещается в двух домах: Дом-музей Трубецких, Дом-музей Волконских), Дом Европы, Арт-Галерея «Dias» и т.п.

В настоящее время, ключевым условием развития исторического центра города является включение его в современное развивающееся и эволюционирующее городское пространство [8].

В результате исследования необходимо отметить, что туризм довольно часто является движущим фактором в развитии городов, поселений и составляющих их градостроительных элементов. Одним из видов сохранения

объектов культурного наследия является их коммерциализация. Такой подход предполагает комплекс мероприятий по привлечению инвестиций в здания-памятники, создание концепции развития территории, чтобы объекты работали не «по одному», а в синергии друг с другом [9]. Западный опыт показывает, что для туристических и торговых нужд объекты культурного и исторического наследия не только отлично подходят, но и пользуются спросом, поскольку, как правило, в здании-памятнике один инвестор занимает один этаж или вообще все здание, что упрощает рекламную работу и частично решает вопрос конкуренции. Покупателя/туриста привлекает не только товар (услуга), за которой он пришел, но и образ исторического объекта.

ВЫВОДЫ

Таким образом, с одной стороны, город обладает значительным историко-культурным потенциалом и имеет все основания для «туристической привлекательности», а с другой – есть не менее важные проблемы по сохранению культурного наследия, которые могут решаться развитием туристической отрасли [10]. Развивать направление коммерциализации можно приспособлением как отдельных объектов на потенциальных трассах туристических маршрутов, так и неиспользуемых (или неадекватно используемых) целых комплексов промышленной архитектуры (комплекс построек спиртоочистительного завода на ул. Рабочего Штаба, 27, комплекс зданий бывшего дрожже-винокурного завода на ул. Гаврилова, 1 и др.).

По результатам исследования можно сделать вывод, что для г. Иркутска, помимо общеизвестной «Зеленой линии» необходим пешеходный маршрут, проходящий через кварталы с уникальной деревянной застройкой – кварталы 34, 36, 87, 88, 98, 106. Разработка и создание такого маршрута с информационными стойками и указателями привлечет внимание местных жителей, туристов и инвесторов к ценнейшим объектам культурного наследия исторического центра г. Иркутска.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Рыгалова М. В., Рыгалов Е. В. Историко-культурный потенциал музеев в развитии туристических маршрутов Алтайского края // Ученые записки (Алтайская государственная академия культуры и искусств). 2019. № 4 (22). С. 53–57. <https://doi.org/10.32340/2414-9101-2019-4-52-56>.
2. Бесьяков А. А. Роль историко-культурного потенциала Усть-Абаканского района в развитии туризма Республики Хакасия // Экологическое

равновесие: природное и историко-культурное наследие, его сохранение и популяризация: материалы VI Международной научно-практической конференции (г. Санкт-Петербург, 12 ноября 2015 г.). Санкт-Петербург: Ленинградский государственный университет имени А. С. Пушкина, 2015. С. 30–33.

3. Славинский С. П. Сохранение подлинности и выявление историко-культурного потенциала

градостроительного наследия Великого Новгорода // Ученые записки Новгородского государственного университета имени Ярослава Мудрого. 2019. № 6 (31). С. 1–4.

4. Глебова Н. М., Большаков А. Г. Принципы сохранения и формирования архитектурной идентичности в уличной застройке исторической части г. Иркутска // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2019. № 9 (3). С. 606–619. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-3-606-619>.

5. Титова О. В. Соотношение потенциала сохранности наследия и историко-культурного потенциала особо охраняемых территорий Вологодской области // Вестник Томского государственного педагогического университета. 2012. С. 217–221.

6. Славинский С. П. Сохранение подлинности и выявление историко-культурного потенциала архитектурного наследия // Ученые записки Новгородского государственного университета. 2019. № 1 (19). С. 1–4. <https://doi.org/10.34680/m4ep-zg37>.

7. Пуляевская Е. В. Мониторинг трансформации архитектурно-градостроительной организации и панорамного восприятия исторической части

г. Иркутска // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2021. Т. 11. № 4. С. 730–739. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-4-730-739>.

8. Шумилкин А. С. Научные основы и практические примеры по развитию историко-культурного потенциала объектов центров исторических городов // Приволжский научный журнал. 2022. № 1 (61). С. 162–167.

9. Путрик Ю. С. К вопросу об измерении, оценке и эффективном использовании историко-культурного потенциала на региональном уровне // Ученые записки (Алтайская государственная академия культуры и искусств). Алтайский государственный институт культуры. 2019. № 2 (20). С. 49–53. <https://doi.org/10.32340/2414-9101-2019-2-49-53>.

10. Любомудрова А. Ю. Историко-культурный потенциал Тамбовского региона в развитии туризма. Стратегия развития индустрии гостеприимства и туризма: материалы третьей Международной Интернет-конференции (г. Орел, 23 января – 23 апреля 2009 г.). Орел: Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс, 2009. С. 558–563.

REFERENCES

1. Rygalova M. V., Rygalov E. V. Historical and cultural potential of Altai krai (Russia) museums in local touristic routes development. *Uchenye zapiski (Altaiskaya gosudarstvennaya akademiya kul'tury i iskusstv) = Proceedings of Altai state academy of culture and arts*. 2019;4:53-57. (In Russ.). <https://doi.org/10.32340/2414-9101-2019-4-52-56>.

2. Bes'kaev A. A. Beskaev A. A. The role of the historical and cultural potential of Ust-Abakan district in the development of tourism in the Republic of Khakassia. In: *Ekologicheskoe ravновесie: prirodnoe i istoriko-kul'turnoe nasledie, ego sokhranenie i popularizatsiya: materialy VI Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Ecological balance: natural and historical and cultural heritage, its preservation and popularization: materials of the VI International Scientific and Practical Conference*. 12 November 2015, Sankt-Peterburg. Sankt-Peterburg: Pushkin Leningrad State University; 2015. p. 30-33. (In Russ.).

3. Slavinskiy S. P. Velikiy Novgorod: keeping authenticity and identifying the historical and cultural potential of urban heritage. *Uchenye zapiski Novgorodskogo gosudarstvennogo universiteta = Memoirs of NovSU*. 2019;6:1-4. (In Russ.). [https://doi.org/10.34680/2411-7951.2020.6\(31\).13](https://doi.org/10.34680/2411-7951.2020.6(31).13).

4. Glebova N. M., Bolshakov A. G. Principles of the preservation and formation of the architectural identity in street construction in the historical part of Irkutsk. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2019;9(3):606-619. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-3-606-619>.

5. Titova O. V. Correspondence of the safety potential of heritage objects and historical and cultural potential of the specially protected natural territories of Vologda region. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta = Tomsk State Pedagogical University Bulletin*. 2013;8:217-221. (In Russ.).

6. Slavinskiy S. P. The keeping of authenticity and revealing of historic and cultural potential of architectural heritage. *Uchenye zapiski Novgorodskogo gosudarstvennogo universiteta = Memoirs of NovSU*. 2019;1:1-4. (In Russ.). <https://doi.org/10.34680/m4ep-zg37>.

7. Pulyaevskaia E. V. Monitoring the transformation of architectural and urban planning and panoramic visual acceptability of the historical part of Irkutsk. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2021;11(4):730-739. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-4-730-739>.

8. Shumilkin A. S. Scientific foundations and practical examples on the development of the historical and cultural potential of the objects of the centers of historical cities. *Privolzhskii nauchnyi zhurnal = Privolzhsky scientific journal*. 2022;1:162-167. (In Russ.).

9. Putrik Yu. S. Revisiting measurement, assessment, and effective use of historical and cultural potential at a regional level. *Uchenye zapiski (Altayskaya gosudarstvennaya akademiya kul'tury i iskusstv) = Proceedings of Altai state academy of culture and arts*. 2019;2:49-53. (In Russ.). <https://doi.org/10.32340/2414-9101-2019-2-49-53>.
10. Lyubomudrova A. Yu. Historical and cultural potential of the Tambov region in the development

of tourism. In: *Strategiya razvitiya industrii gostepriimstva i turizma: materialy tret'ei Mezhdunarodnoi Internet-konferentsii = Strategy for the development of the hospitality and tourism industry: materials of the Third International Internet Conference*. 23 January–23 April 2009, Orel. Orel: State University – Educational, Scientific and Production Complex; 2009. p. 558-563.

Информация об авторах**А. К. Майновская,**

магистрант,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: daarishka99@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-6413-2991>

А. Н. Прокудин

кандидат исторических наук, доцент,
доцент кафедры рисунка, основ проектирования
и историко-архитектурного наследия,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: a.n.pro@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9907-2535>

Information about the authors**Arina K. Mainovskaya,**

Master Degree Student,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: daarishka99@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-6413-2991>

Alexandr N. Prokudin

Cand. Sci. (Hist.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Drawing, Fundamentals of Design
and Historical and Architectural Heritage,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: a.n.pro@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9907-2535>

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interests

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

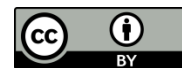
The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 28.09.2022.
Одобрена после рецензирования 24.10.2022.
Принята к публикации 26.10.2022.

Information about the article

The article was submitted 28.09.2022.
Approved after reviewing 24.10.2022.
Accepted for publication 26.10.2022.



**Территориальное планирование и управление системой
сельского расселения Восточной Сибири XIX – начала XX вв.**

Евгения Владимировна Пуляевская

Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия,
pulya.arch@bk.ru

Аннотация. Цель – изучение территориальных преобразований и организации процесса сельского расселения, проводимого правительством России в XIX – начале XX вв. В исследовании в качестве основных использованы методы историографического и картографического анализа, изучения архивных источников и анализа статистических данных. Работа проводилась в два этапа: выявление структуры землепользования на уровне субъектов в современных границах административного деления; исследование системы организации и управления процессом переселения, определение основных принципов при планировании переселенческих участков. Ретроспективный анализ землепользования сельской общины представлен в виде схем и картографического материала, отражающих состояние территориального развития переселенческих районов. Собранный историографический материал, статистические данные и нормативно-правовое обеспечение отражают основные методы организации и управления процессом переселения, опыт планирования сельского расселения на государственном уровне. Отвод переселенческих участков осуществлялся из свободных государственных запасов в виде хуторских наделов и отрубов. Управление процессом опиралось на организованную систему комитетов с привлечением специалистов разного профиля, в задачи которых входила организация социальной и инженерной инфраструктуры. Проводимое изучение территорий заселения, выделение земель крестьянских обществ и земель инородцев, упорядочивание сложившегося землепользования, выявление экономического, хозяйственного и аграрного потенциала региона демонстрируют методы предварительного комплексного анализа территории для планирования расселения. Материалы актуальны при анализе динамики территориального развития сельских поселений, изучения методов и практик территориального планирования системы сельского расселения.

Ключевые слова: сельское расселение, землепользование, землеустройство, территориальное планирование, устойчивое развитие сельских территорий, управление развитием территорий

Для цитирования: 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>.

Original article

**Regional planning and management of rural settlements
in Eastern Siberia in 19th – early 20th centuries**

Evgeniia V. Pulyaevskaia

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia,
pulya.arch@bk.ru

Abstract. This article studies territorial transformations, along with the management of rural settlements, carried out by the Russian government in the 19th–early 20th centuries. The methods of historiographic and cartographic analysis, as well as the study of archival sources and statistical data, were used. The work was carried out in two stages: identification of the land-use pattern at the state

level within the contemporary borders of administrative structure; study of the management of the relocation process and definition of basic principles in the planning of migration sites. A retrospective analysis of the land use associated with a rural community was presented as diagrams and cartographic materials reflecting the state of territorial development in migration areas. The collected historiographic materials, statistical data and regulatory support reflect the main methods for managing the relocation process and the experience of planning rural settlement at the state level. The migration areas were allocated from free state reserves in the form of individual farms and plots of land. The process management was based on a system of committees involving various specialists, whose tasks included the organisation of social and engineering infrastructure. The performed study of the settlement territory, the allocation of lands for farming societies and minorities, the ordering of the existing land use and the identification of the economic and agricultural potential of the region comprise the methods of the preliminary comprehensive analysis of the territory during settlement planning. The obtained results are essential for analysing the dynamics of territorial development and studying methods and practices of territorial planning of the rural settlement system.

Keywords: rural settlement, land use, land management, territorial planning, sustainable rural development, territorial development management

For citation: Pulyaevskaia E. V. Regional planning and management of rural settlements in Eastern Siberia in 19th – early 20th centuries. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = 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>.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования обусловлена стагнацией и депрессивным состоянием сельских поселений Восточной Сибири, сокращением доли сельского населения в регионе с 88% (1897 г.) до 22% (2021 г.), сокращением сельских населенных мест и неэффективным использованием земельных ресурсов. Обеспечение устойчивого развития сельских территорий Восточной Сибири, являющихся важнейшим ресурсом региона в условиях современной глобализации¹, зависит от многих факторов, включающих экономические, экологические и демографические проблемы. Обсуждая качество жизни, развитие сельской экономики, занятость и доходы населения, нельзя не вспомнить переломные этапы в истории общества, поднимающие вопросы поземельного устройства и формирования системы сельского расселения, связанные с планированием и управлением развитием сельских территорий. Обращаясь к теме изучения аграрной политики, проводимой в России в XIX – начале XX вв., демонстрирующей опыт организации государственного управления системой

сельского расселения, есть возможность оценить эффективность и результативность выбранных методов в условиях зарождающихся в тот период времени торгово-промышленных экономических отношений и сложившихся традиционно-общинных методов хозяйственной деятельности. На сегодняшний день более доступными стали статистические материалы по исследованию хозяйственного быта сельских поселений Восточной Сибири, документы переселенческого комитета, списки населенных мест, картографические данные, систематизирован материал по переселенческому делу, известны нормативно-правовые и методологические основы, обозначены принципы колониальной политики России (О. М. Бобылева, 2020).

На основе статистических данных изучается динамика развития сельских поселений Прибайкалья, деятельность переселенческих организаций Восточной Сибири [1]. Несмотря на обширный материал, посвященный теме заселения Сибири² [2], Столыпинской аграрной реформе³ [3], принципам

¹Об утверждении Стратегии устойчивого развития сельских территорий Российской Федерации на период до 2030 года от 02 февраля 2015 г. // Кодекс.ру [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/420251273> (14.10.2022).

²История Сибири с древнейших времен до наших дней. В 5 т. Под ред. А. П. Окладникова, В. И. Шункова, Институт истории, филологии и философии (Новосибирск). Ленинград: Наука. Ленингр. отд-ние, 1968. 5 с.

³Аграрная реформа Столыпин: кратко об изменении России // История России [Электронный ресурс]. URL: <https://istoriarusi.ru/imper/agrarnaja-reforma-stolypina-kratko.html> (31.10.2022).

переселения и колонизации в России² [2], анализу землевладения и землепользования, в том числе в Европейских странах [4], недостаточно изученными остаются вопросы по формированию территориально-пространственной модели сельских обществ, организованных в период государственной аграрной политики России конца XIX – начала XX вв. в Восточной Сибири, что и определило цели данного исследования.

Объект исследования – территории сельского расселения Восточной Сибири.

Предмет исследования – территориально-пространственное развитие сельского общества, методы планирования.

Границы исследования включают территории Иркутской, Енисейской губерний и Забайкальской области, которые в 1913 г. входили в границы Иркутского генерал-губернаторства, а в настоящее время соответствуют современным границам Восточно-Сибирской экономической зоны.

Задачи исследования заключались в следующем:

1) выявление административных границ и структуры землепользования, сложившейся на период исследования, а также территорий планируемых переселенческих участков в Восточной Сибири;

2) изучение методов планирования территориально-пространственной организации сельского общества и системы управления.

МЕТОДЫ

Исследование проводилось в несколько этапов:

1. Для выявления структуры землепользования на уровне субъектов РФ в современных границах административного деления был проведен сравнительный визуальный анализ картографических материалов 1914 г., составленных на основе «Материалов...»⁴ и землеустроительных работ начала XX в.

Это позволило составить перечень населенных мест (переселенческих участков) и определить их местоположение в границах субъектов РФ (Иркутская и Забайкальская области, Красноярский край).

Далее был выборочно привлечен статистический материал по динамике сельского населения, проведен сравнительный анализ

поселений по переселенческим районам с выявлением их местоположения в системе расселения.

На втором этапе проводился анализ нормативно-правовых документов и источников, формирующих методологию аграрной политики России до начала XX в. Для анализа системы организации и управления процессом переселения и определения основных принципов при планировании переселенческих участков был использован историографический метод исследования.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Организация административно-территориального управления в Сибири

Упорядочивание системы управления территориями Сибири начинается с 1819 г. М. М. Сперанским, назначенным генерал-губернатором Сибири, который замечает, что «...правильное и удобное разделение страны есть первая потребность доброго управления» [5].

В своем отчете о состоянии Сибири М. М. Сперанский предлагает разделение региона на два экономических района (западный и восточный), на основании природных характеристик территории и сформировавшихся торгово-экономических связей определяет основные центры управления.

Структура управления формируется на основе принципов самоуправления сельских обществ и инородческих управ.

В 1822 г. изданием Указа генерал-губернатора Сибири крестьянам всех губерний было разрешено переселяться в сибирские регионы, что послужило началом аграрной политики в Сибири [6].

Управление сибирскими губерниями основывалось на «Сибирском учреждении», согласно которому вся азиатская Россия разделялась на Западно-Сибирское генерал-губернаторство с центром в г. Тобольске (позднее в г. Омске) и Восточно-Сибирское, с центром в г. Иркутске.

К первому генерал-губернаторству были отнесены губернии Тобольская, Томская и учрежденная Омская; ко второму – Иркутская, учрежденная Енисейская, Якутская области и Приморское, Охотское и Камчатское управления. Ниже уровнем были округа, еще ниже – самоуправляющиеся волости и инородческие управы (рис. 1).

⁴Материалы по исследованию землепользования и хозяйственного быта сельского населения Иркутской и Енисейской губерний. М.; Иркутск, 1889–1893.



a



b



c



d

Рис. 1. Административно-территориальное деление Сибири XIX – начала XX вв., 1913 г.:

a – карта границ Иркутской губернии 1824 г.; b – округа Иркутский, Нижнеудинский, Верхнеудинский, Нерчинский, Киренский; c – карта Восточной Сибири 1859 г.; d – административная карта

Fig. 1. Administrative-territorial division of Siberia of the 19th–early 20th centuries, 1913:

a – map of the borders of Irkutsk province in 1824; b – Irkutsk, Nizhneudinsky, Verkhneudinsky, Nerchinsky, Kirensky districts; c – map of Eastern Siberia in 1859; d – administrative map

К 1913 г. Восточная Сибирь (как часть Азиатской России) включает Томскую и Тобольскую губернии и 3 генерал-губернаторства (Степное, Иркутское, Приамурское). Сформированы управления Православной Епархии (Енисейская, Иркутская, Тобольская, Томская, Якутская, Забайкальская, Благовещенская, Владивостокская); Военные округа (Иркутский, Приамурский), Судебные округа (Иркутский) и учебные округа (Иркутское и Приамурское инспекторство с высшими учебными заведениями (Томск) и попечителями учебных округов или главных учебных инспекторов (Томск, Иркутск), кроме этого в структуру управления входили казенные округа, округа контрольных палат, переселенческие

районы и районы управления земледелием.

Организация органов управления земельно-имущественными отношениями в России

Об организации управления государственных крестьян правительство начинает заботиться со времен Екатерины II. В 1797 г. при Павле I утверждено положение о сельском и волостном правлении в казенных имениях, а, соответственно, разграничивались понятия о сельском и волостном обществе [7, с. 62]. Преобразования в области управления начинаются в России с 1837 г., когда на основе Департамента государственных имуществ Министерства финансов открывается Министерство государственных имуществ (МГИ) под руководством графа П. Д. Киселе-

ва. Подготовленный П. Д. Киселевым проект управления развивал идеи Екатерины II, которая отмечала, что «сельский быт, основанный на земледелии, не может быть устроен по образцу городского, который опирается на ремесла и торговлю, т. е. богатство движимое» [8]. Также был использован опыт реформирования управления в Сибири М. М. Сперанского. Формируются губернские палаты государственных имуществ, окружные, волостные и сельские управления, а так же сельский полицейский устав, сельский судебный устав, главные основания хозяйственного устава, учреждение штатов [8, т. 1, с. 505]. Палаты государственных имуществ состояли из двух отделений – хозяйственного и лесного. Во главе округа стоял окружной начальник. В зависимости от численности государственных крестьян округ государственных имуществ мог охватывать один или несколько уездов. Округа, в свою очередь, подразделялись на волости, в каждой из которых избиралось волостное правление сроком на три года, состоявшее из волостного главы и двух «заседателей» (по хозяйственной и полицейской части). Волости подразделялись на сельские общества, включавшее в себя одно или несколько селений. Сельский сход состоял из представителей домохозяев от каждых пяти дворов и избирал сельского старейшину сроком на три года для исполнения полицейских функций – сотских (одного от 200 дворов) и десятских (одного от 20 дворов). Для рассмотрения мелких тяжб и проступков крестьян избирались волостные и сельские «расправы».

В ведении МГИ находились: казённые, заселённые и пустопорожные земли; казённые оброчные статьи; леса казённого ведомства.

В основу деятельности Министерства было положено крестьянское дело, т.е. поземельное устройство крестьян. Одним из главных достижений в деле реформирования «казённой деревни» стала замена подушной подати поземельным налогом, который рассчитывался исходя из размеров надела. «Ведомством были сделаны полезные начинания в оброчном и лесном деле, в области восполнения сельскому хозяйству (опыты травостояния, поощрения садоводства, овцеводства и других отраслей сельского хозяйства, устройство сельскохозяйственных ферм)»⁵. В 1894 г. управление представлено Министерством государственных имуществ и Министерством земледелия и государственных имуществ

(МЗиГИ), с 1905 г. преобразовано в Главное управление землеустройства и земледелия (с 1915 г. – Министерство земледелия). С 1885 г., «как особый предмет обучения», в Петровской академии вводится преподавание «Сельхоз статистики», по программе профессора А. Фортунатова. В 1893 г. вышло первое его авторское пособие по статистическим на основе собранных материалов анализа 50 губерний Европейской России. Первая глава источника описывала земельные условия русского сельского хозяйства, вторая – население, третья посвящена технике, последние 2 главы – сбыту продукции [9]. Данные за 1881–1890 гг. подтверждали лидерство России на мировом рынке по производству и вывозу льна (1 место), общей сумме хлебного вывоза (2 место).

Территориальное устройство сельского населения Восточной Сибири

Решение вопроса о поземельном устройстве сельского населения Восточной Сибири было обозначено иркутским генерал-губернатором, графом А. П. Игнатьевым в мае 1887 г. Для правильного определения надела и оброчной подати МГИ, предлагает предварительное исследование условий быта местного сельского населения⁴. Разрабатывается и опробуется специальная программа исследования, формируются комиссии и полевые отряды с привлечением опытных специалистов в области землепользования, для изучения и выявления удобных пахотных, покосных и выгонных ресурсов.

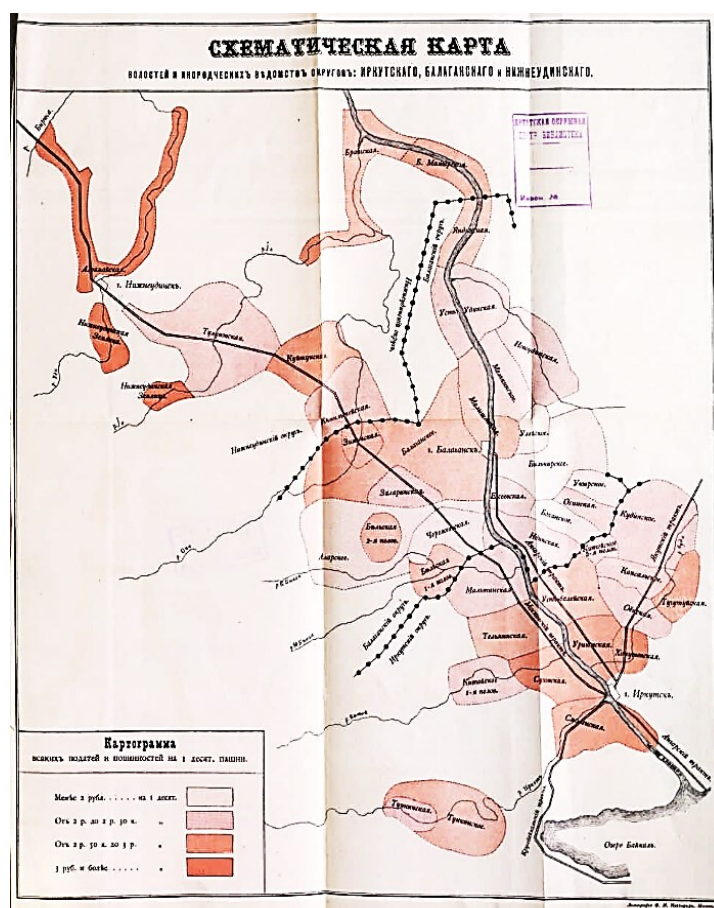
С 1888 по 1899 гг. издаются многотомные отчеты по результатам комплексного исследования Иркутской, Енисейской губерний и Забайкальской области, включающие статистические данные по населению, землепользованию, сельским обществам и инородцам и т. п. (рис. 2).

В 1908 г. Читинским отделением Императорского Русского географического общества под руководством Д. М. Головачева было предпринято изучение хозяйственно-экономического положения инородцев Агинской степи в связи с «естественно-историческими условиями», была организована подворная перепись, при этом одной из задач являлось сравнить перепись официальную (1897 г.) с данными 1908 г. и выявить изменения прошедшие за этот период времени [10].

⁵Сельскохозяйственное ведомство за 75 лет его деятельности.



a



b

Рис. 2. Материалы по исследованию землепользования и хозяйственного быта 1888–1899 гг. (a) и картограмма всяких податей и повинностей на 1 десятину пашни по волостям и инородческим ведомствам Иркутского, Балаганского и Нижнеудинского округов Иркутской губернии (b)
Fig. 2. Materials on the study of land use and economic life in 1888–1899 (a) and a cartogram of all taxes and duties for 1 tithe of arable land in the volosts and foreign departments of the Irkutsk, Balagan and Nizhneudinsky districts of the Irkutsk province (b)

В 1914 г. выходит 4-томное издание Азиатская Россия главного управления землеустройства и земледелия⁶, дающее описание губерний: их пространство, поверхность, население и его плотность, исследование почвы, климата, земледелия, скотоводства и фабрично-заводской промышленности, кустарных промыслов, торговли, путей сообщения, православных храмов и монастырей. В составе Атласа 12 карт губерний и областей, содержащих подробные сведения о видах земельной собственности и деятельности Переселенческого управления, планы 14 городов, 15 справочных и тематических карт Азиатской России. Указатель географических названий к атласу включает около 10 000 названий.

Планирование и управление территориально-пространственным развитием Восточной Сибири

Сибирское землевладение конца XIX в. сильно отличалось от Европейской России и по наблюдениям исследователей того периода, находилось в более ранней фазе своего исторического развития. Начавшееся с 1850-х гг. межевание уже освоенных и заселенных территорий определяло границы землепользования старожилов крестьянских общин исходя в среднем из расчета 21 десятина на 1 ревизскую душу. Эта территория находилась в общем пользовании сельского общества и предствляла собой сложную систему более мелких земельных чересполосных участков (чересполосица). Крестьянский земельный надел одной семьи состоял из нескольких земельных участков, разбросанных на разных расстояниях друг от друга (огород, пашня, покос), и определялся ландшафтным местоположением, характеристиками почв и наличием водных ресурсов. Эта традиционная форма чересполосного землепользования существовала и в центральных губерниях Европейской России (рис. 3). В Европейской России в этот период идет поиск новых форм интенсивного хозяйствования и землеустройства на основе частной собственности на землю. Основной целью является вовлечение крестьян в торгово-промышленные отношения, которые позднее станут основой политики аграрной реформы Столыпина и активизируют процессы перераспределения земельных ресурсов. Для

организации такого единоличного (фермерского) хозяйствования необходимо определение оптимального размера земельного надела, который, по мнению одних экспертов, должен соотноситься с «...рабочими силами семейства без помощи работника», когда предпочтение отдается мелким хозяйствам размером в 4–5 десятин (4–5,5 га) и средним хозяйствам размером 8–12 десятин (от 9–13 га).

По мнению других, размер надела должен преследовать «...хозяйственные интересы», и средний размер крестьянской фермы предлагался в 25–50 десятин (27–54 га), участки для рабочих – 5–10 десятин (6–11 га), при возможности дополнительных заработков, а «участков менее 5 дес. не следовало бы допускать»⁷. Позднее, в рамках пропаганды аграрной реформы, изданная в 1907 г. тиражом 500 тыс. экземпляров брошюра в популярной форме изложит историю хуторского землепользования в Российской империи и представит практические рекомендации по переходу к данной форме хозяйствования [11]. При этом идейные вдохновители новой формы сельского расселения сами цитируют аргументы крестьян против формирования хуторского единоличного хозяйства: «общая пастьба деревенского стада лучше для скота и обходится гораздо дешевле, чем пастьба скота каждого хозяина в отдельности. Хуторской участок более уязвим при граде и других природных анамалиях, когда могут легко погибнуть посевы одного хозяина, между тем как при чересполосном равпределении земли это должно случаться гораздо реже. Общее чересполосное хозяйство, которое заставляло всех начинать и кончать различные полевые работы одновременно, подгоняло нерадивых крестьян, которые могут совсем запустить свое хозяйство, когда они на хуторе будут предоставлены самим себе. Хуторское хозяйство выгодно только для многоземельных, а малоземельных оно разоряет И на хуторах крестьяне дичают, детей в школу не посылают, сами в церковь не ходят, в общественных делах участия не принимают, и что среди хуторян сильно развивается воровство, посещение церквей и школ затрудняется в связи с дальностью расстояния, и при хуторском хозяйстве слишком много земли уходит под дороги. «Хуторского устройства не надолго хватит».

⁶Россия. Географическое описание Российской Империи по губерниям и областям с географическими картами: алфавитный каталог // Электронная библиотека Руниверс [Электронный ресурс]. URL: <https://runivers.ru/lib/book7761/450334/> (02.11.2022).

⁷Земледелие в Европе. Земледелие в России. Разные виды землевладения. Размеры землевладения. Колонизация. 1876. С. 850–851.

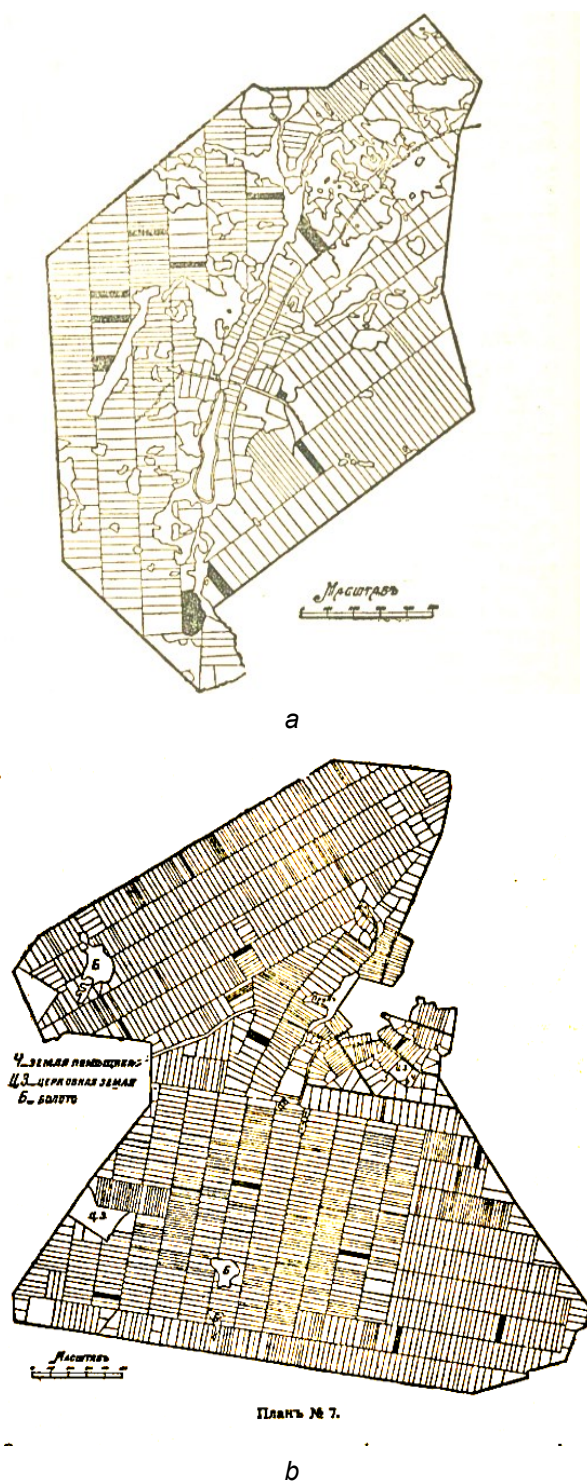


Рис. 3. Территориально-пространственная организация землепользования: а – д. Зубринки, Волынской губернии, Житомирского уезда, Гороховской волости до хуторского расселения: всего 1102 дес., из них удобной земли – 752 дес., неудобной – 350 дес.;
 б – местечко Черняхова, Волынской губернии, Житомирского уезда, Черняховской волости сельской общины на примере Европейской России [11, с. 40]
Fig. 3. Territorial and spatial organization of land use: а – Zubrinka village, Volyn province, Zhytomyr county, Gorokhovskaya parish to farm settlement: total 1102 des., of which comfortable land – 752 des., inconvenient – 350 des.;
 б – the town of Chernyakhov, Volyn province, Zhytomyr county, Chernyakhovskaya parish rural community on the example of European Russia [11, p. 40]

С одной стороны, мол, богачи будут скупать участки, а с другой – хуторы будут делиться между сыновьями в черсполосицу, и опять все пойдет по старому» [11, с. 12].

Методы территориально-пространственной организации сельских обществ прослеживаются в картах-схемах, составленных переселенческим комитетом (первый опыт территориально-пространственного планирования).

Отдельно издаются Списки переселенческих участков по губерниям с перечнем всех переселенческих участков по волостям и описанием сведений о размерах и свойствах земельного фонда⁸.

В них указываются, кроме удобных сельскохозяйственных участков, их емкость, выраженная в душевых долях и степень их обустроенности. Алфавитный перечень переселенческих участков Иркутской губернии ранжирует участки на хутора, отрубы и поселки (рис. 4).

На представленных ниже фрагментах карт (рис. 5) видим проект пространственного развития сельских территорий на примере Иркутской и Енисейской губерний начала XX в.

На карте представлены границы территорий землепользования крестьянских обществ и инородцев, отдельно выделены переселенческие участки в виде хуторов и отрубов.

№№ по порядку.	Название уѣздовъ, волостей, поселковъ и селеній.	Описание участка.						Годъ		Сколько водворено душъ мужскаго пола.	Сколько остается свободныхъ душевыхъ долей.	Качества лѣса и почвы, характеръ водохранилищъ, степень достаточности воды, отмѣтка о работахъ гидротехнической экспедиціи.
		Годъ его образованія.	Число десятинъ.				Число душевыхъ долей.	Годъ заселенія участка.				
			Общей площади участка.	Удобной земли.	Неудобной земли.	Подъ лѣсомъ.						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Кимильтейская волость.											
11	Или	1897	6861	6129	732	3607	206	1901	—	116	90	Участки съ мѣшаннымъ лѣсомъ, водоснабженіе изъ рѣкъ, — посредственное только на Илійскомъ участкѣ, — на прочихъ хорошее. Въ п. Усть-Кадинскомъ рѣка славная.
12	Усть-Када . .	1897	7570	7249	321	4030	474	1901	—	207	267	
13	Кандулуунъ	1897	3033	2934	99	2106	188	1901	—	143	45	

a

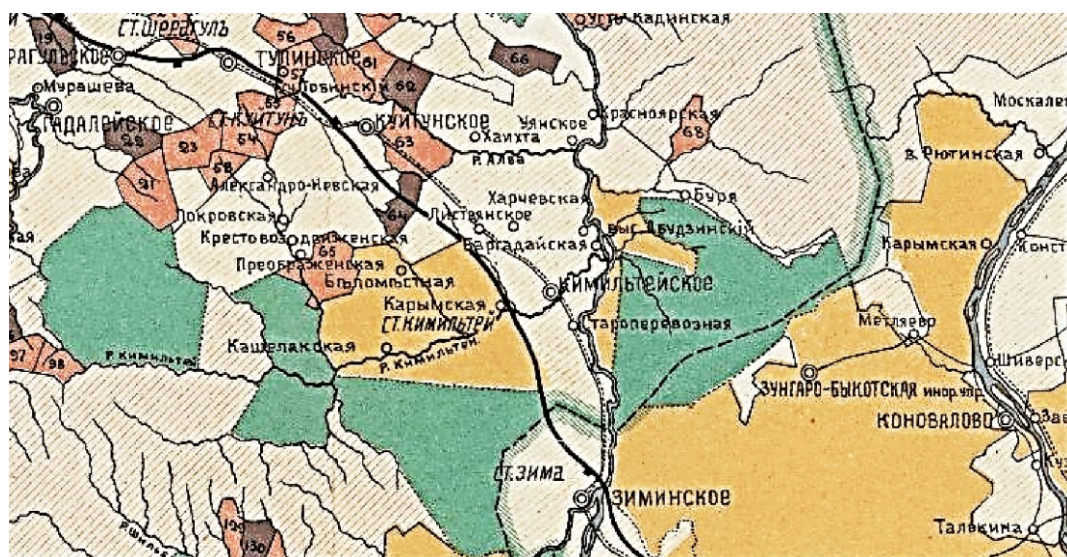
Наименование участков.	Категория участков.	№№ по карт.	№№ по книге участков.	Уезд.	Подрайона	Волости.	Сельские Общества		Размер в саж.
							Год образования.	Название.	
Александровский	пос.	78	351	Бал.	Кутул.	Кутуликской	1910	Югановское	100
Александровский	»	50	—	Верх.	К. Н. 1 уч.	Кыргенской	—	—	250
Александров-Яковлевский	отр.	149	—	Ирк.	К. Н. 5 уч.	Тугутуйской	—	—	250
Алексеевский	пос.	68	350	Бал.	К. Н. 1 уч.	Холмогорской	1910	Алексеевское	100
Аленкин	хут.	901-905	—	Нижн.	К. Н. 2 уч.	Шарагульской	—	—	165
Алимовский	пос.	287	629	»	К. Н. 1 уч.	Солонецкой	1912	Алимовское	165
Алимовский	»	733	—	»	К. Н. 2 уч.	Тулунской	—	—	165
Аликин	»	130	55	»	Куйтун.	Куйтунской	1909	Аликинское	100

b

Рис. 4. Списки переселенческих участков (фрагменты): а – за 1903 г.; б – за 1914 г.

Fig. 4. Lists of resettlement sites (fragments): a – for 1903; b – for 1914.

⁸Список переселенческих и запасных участков, образованных с 1893 года по 1-ое июля 1903 года в Степном крае, Тобольской, Томской, Енисейской и Иркутской губерниях. Вып. 14. СПб., 1903 // [Электронный ресурс]. URL: <http://elib.shpl.ru/ru/nodes/45975> (05.11.2022).



a



b

Рис. 5. Территориально-пространственная организация землепользования на примере волостной общины Восточной Сибири, заселяемая часть (фрагменты карт):
a – Иркутская губерния, 1906 г.; b – Енисейская губерния, 1905 г.

 Земли крестьян	 Обследованные таежные районы
 Земли инородцев	 Переселенческие участки
 Дачи свободной колонизации	 Запасные участки
 Лесные дачи	

Fig. 5. Territorial and spatial organization of land use on the example of a volost community in Eastern Siberia, inhabited part (fragments of maps):
a – Irkutsk province, 1906; b – Yenisei province, 1905.

 Peasant lands	 Surveyed taiga areas
 Alien Lands	 Resettlement sites
 Cottages of free colonization	 Spare parts
 Forest cottages	

Необходимо отметить, что регламентировался порядок образования переселенческих и запасных участков [12, с. 82]: «Переселенческие и запасные участки образуются из казенных земель для водворения на них переселенцев и удовлетворения будущих государственных потребностей в земле. В пределы участков не должны были включаться лесные дачи, прилегающие к линии железной дороги в промежутках между станциями, в полосе шириною от двух до пяти верст от линии, состоящие в пользовании коренного населения постоянные общественные угодья (усадебная земля, пашни, огороженные пасоки, заказные рощи (сады) и душевые покосы). Все участки должны быть обеспечены водою и по возможности лесом, для образования участков выбираются удобные под сельское хозяйство земли» [12, с. 97]. Участки более 2000 десятин (2185 га) удобной земли резервируют от территории в 120 десятин (131 га – 6%) под церковь и школу. Под усадебные участки в переселенческих участках отводить не менее 20х80 сажень (43 м х 171 м), допуская уменьшения до 16х60 сажень (34х128 м), т.е. около 0,7–0,8 га. При разбивке усадеб в поселениях, обещающих развитие торговли, следует отводить особые усадебные места, размером по 1200 сажень для сельскохозяйственных и лесных складов переселенческого управления. На проектируемых переселенческих участках выделялся отруб для школы (15 десятин = 16 га) и церковный участок площадью в 105 десятин (115 га), из них 99 десятин (108 га) на приход и остальное на прочие нужды, причем право отвода распространялось только на православные церкви. При переселенческих участках единоличного пользования школьные наделы выделялись из расчета на 50 хуторских участков. Отдельно были предложены хуторские отрубы, рассчитанные на среднюю семью с тремя душами мужского пола. Размер такого отруба предлагался 45 десятин удобной и 15 десятин годной для выпаса земли всего не более 60 десятин, в том числе лесного надела от 9 до 12 десятин.

Большие семьи с пятью и более душами мужского пола могли получать два смежных хутора или отруба. Также регламентируются геометрические параметры участков: хутор квадратной формы из участка в одной меже, такой же хутор из вытянутой формы длиной,

не превышающей его ширины более чем в 5 раз, хутор более чем из одного участка, состоящего из удобной усадебной и пахотной земли, отруб-полевой участок в одной меже, расположенный отдельно от усадьбы. Отруб не должен быть растянут более чем в 6 раз по отношению к ширине.

Для участков, предназначенных для отвода селениям и удобства межевания внутринадельного, определялись участки не более 1000 десятин (1092,5 га) удобной земли или более крупные в зависимости от природных условий местности.

По каждому образованному участку составлялось описание, включающее кроме местоположения участка в волости и расстояния его от станции, города, волосного правления, школы, торгового или вообще населенного пункта, общей площади участка, с указанием числа душ, которые могут быть на нем размещены, свойства земельного угодья, почвы, леса, климатические и почвенные условия, какие хлеба и злаки могут произрастать, период полевых работ, для выходцев какой губернии более пригоден и, если частично заселен, то жителями какой губернии и уезда.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В России сельское население в среднем составляло 87%⁹. В Сибири этот показатель около 90%, где на первом месте по количеству всего населения (обоих полов) выделялись Томская и Тобольская губернии, при этом % городских жителей в Иркутской (12%) и Енисейской (11%) губерниях, что в два раза больше, чем в названных выше губерниях (рис. 6).

Население Восточной Сибири к началу XX в. составляло 2 585 200 чел, из них русских в Енисейской губернии – свыше 90%, Иркутской губернии – 78% и Забайкальской области – 68%.

Территория землепользования по губерниям представлена на диаграмме (рис. 7), из которой видно, что 63% – это территория в границах Енисейской губернии, 22% – Иркутской губернии и 15%, соответственно, Забайкальской области, при этом в Енисейской губернии доля территорий, выделенных под переселенческие участки, от всех территорий сельского землепользования, составляла 61%, что превышало по площади территорию землепользования крестьянских

⁹ГПИБ | [Вып. 1]: Население городов по переписи 28-го января 1897 года: по уездам. 1897 // [Электронный ресурс]. URL: <http://elib.shpl.ru/ru/nodes/15163-vyp-1-naselenie-gorodov-po-perepisi-28-go-yanvarya-1897-goda-po-uezdam-1897#mode/inspect/page/27/zoom/4> (02.11.2022).

старожильческих общин (39%).

Экономический анализ аграрной реформы был опубликован в Атласе Азиатской России. С 1906 по 1912 гг.

включительно на переселенческое дело в Азиатской части России было отпущено из государственного казначейства 138 645 000 руб.¹⁰ (рис. 7).

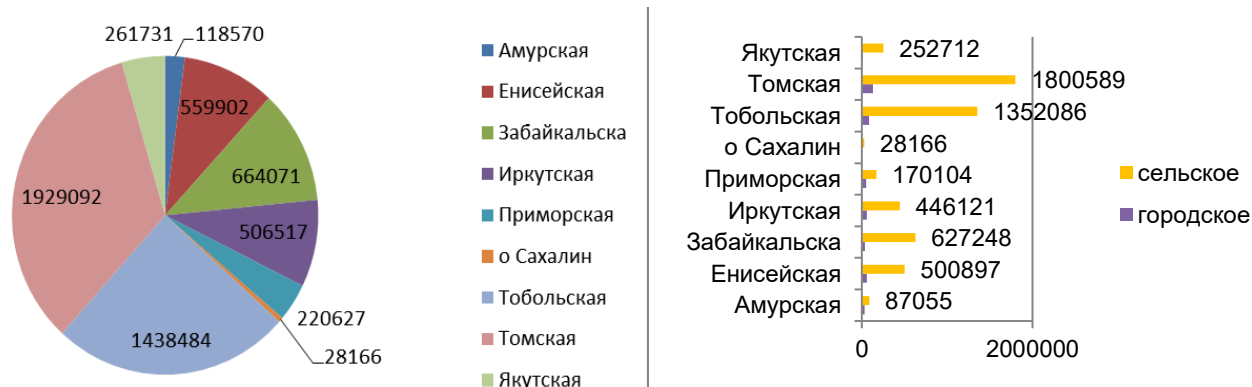


Рис. 6. Данные переписи населения Сибири по губерниям и областям в 1897 г.
Fig. 6. Data from the population census of Siberia by provinces and regions in 1897

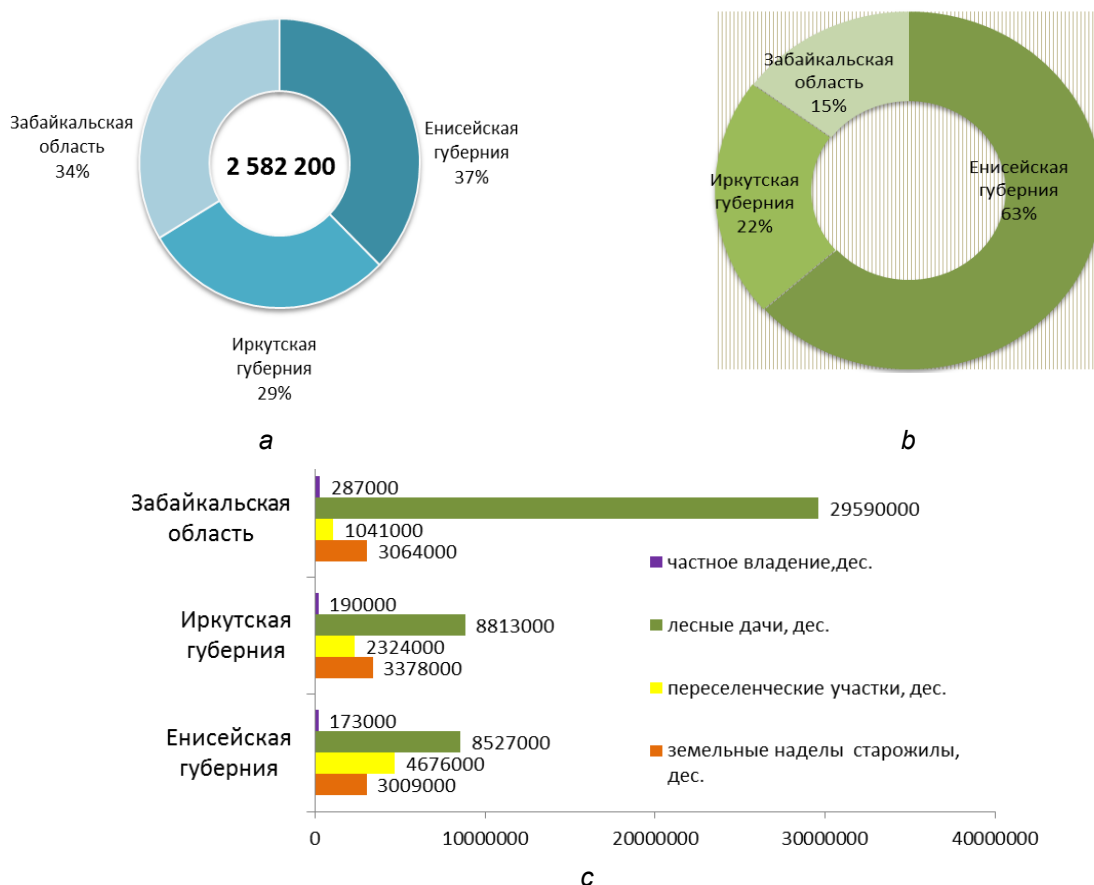


Рис. 7. Распределение землепользования в Восточной Сибири (земли крестьян-старожилов, переселенческие участки, лесные дачи): а – население; б – доля от общей площади территории Иркутской, Енисейской губерний и Забайкальской области
Fig. 7. Distribution of land use in Eastern Siberia (lands of old-timers, resettlement plots, forest cottages): а – population; б – share of the total area of the territory of Irkutsk, Yenisei provinces and Trans-Baikal region

¹⁰Атлас азиатской России 1914 г. // Etomesto.ru [Электронный ресурс]. URL: <http://www.etomesto.ru/karta3221/> (07.12.2021).

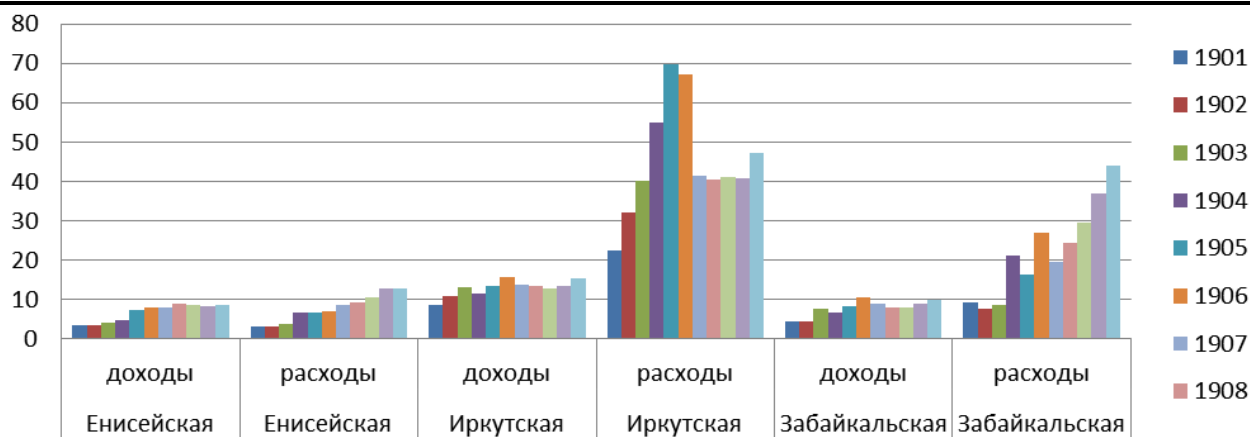


Рис. 8. Расходы и доходы переселенческого управления по годам
Fig. 8. Expenses and income of the resettlement administration by year

Анализ представленной диаграммы показывает, что наибольшие расходы на организацию переселения были в Иркутской губернии, при этом наибольшее значение выпадает на 1905–1906 гг. В Енисейской губернии затраты не сильно выражены. В Забайкальской области пик расходов приходится на 1907–1908 гг. (рис. 8).

В рамках поставленных задач были исследованы картографические и статистические материалы, проведен историографический анализ формирования административно-территориального управления в границах Восточной Сибири. Выявлены принципы территориально-пространственной организации сельской общины и формы производственной организации сельского землепользования. Сложившаяся экономическая модель на

основе хозяйственной деятельности крестьянской общины заложила фундамент экономики региона. Региональная модель сельского расселения, формировавшаяся под влиянием природно-климатических, социально-экономических и административно-управленческих факторов, требует дальнейшего изучения и систематизации опыта территориально-пространственной организации и анализа основных этапов ее развития. Представленный материал дает возможность глубже изучить особенности формирования сельского расселения, и методы организации управления и планирования территориального развития, выявить слабые и сильные стороны процесса переселения и обустройства сельского жителя, провести анализ динамики сельского расселения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Малеев Н. Г. Динамика развития сельских поселений Прибайкалья во второй половине XVII – первой четверти XX века // Известия Иркутской государственной экономической академии (Байкальский государственный университет экономики и права). 2015. Т. 6. № 2. С. 31. [https://doi.org/10.17150/2072-0904.2015.6\(2\).31](https://doi.org/10.17150/2072-0904.2015.6(2).31).
2. Покшишевский В. В. Заселение Сибири. Иркутск: Областное государственное изд-во, 1951. 208 с.
3. Беляев А. В. Историография аграрных реформ в России в XX веке // Социально-экономический и гуманитарный журнал Красноярского ГАУ. 2018. № 2 (8). С. 116–127.
4. Кауфман А. А. Переселение и колонизация // Государственная публичная историческая библиотека России [Электронный ресурс]. URL: <http://elib.shpl.ru/ru/nodes/3900-kaufman-a-a-pere-selenie-i-kolonizatsiya-spb-1905-biblioteka-obs>

- chestvennoy-polzy (13.09.2022).
5. Прутченко С. М. Сибирские окраины: областные установления, связанные с сибирским учреждением 1822 г., в строе управления русского государства: историко-юридические очерки: приложения. СПб: Типография А. С. Суворина, 1899. 532 с.
6. Баранцева Н. А. Переселение в Енисейскую губернию во второй половине XIX – начале XX века: этносоциальные и демографические аспекты // Вестник Челябинского государственного университета. 2009. № 38 (176). С. 33–40.
7. Леонтьев А. А. Крестьянское право. Систематическое изложение особенностей законодательства о крестьянах. СПб.: Законоведение, 1909. 418 с.
8. Вешняков В. И. Екатерина. Проект императрицы Екатерины II об устройстве свободных сельских обывателей. Санкт-Петербург: Типография

Императорской Академии наук, 1877. 52 с.

9. Фортунатов А. Ф. Сельскохозяйственная статистика Европейской России. М., 1893.

10. Головачев Д. М. Солдатов В. В. Труды Агинской экспедиции. Вып. 7. I. Население. Чита, 1911. 366 с.

11. Кофодъ А. А. Хуторское расселение. СПб: Типография газеты «Сельский вестник», 1907. 72 с.

12. Вошинин В. П. Переселение и землеустройство в Азиатской России: сб. законов и распоряжений / под ред. Г. Ф. Чиркина. Петроград: Типография Петроградской тюрьмы, 1915. 509 с.

REFERENCES

1. Maleyev N. G. Development dynamics for rural settlements of East Baikal Region over the period of the second half of XVIIIth century till the first quarter of XXth century. *Izvestiya Irkutskoy gosudarstvennoy ekonomicheskoy akademii (Baykalskiy gosudarstvennyy universitet ekonomiki i prava) = Izvestiya of Irkutsk State Economics Academy (Baikal State University of Economics and Law)*. 2015;6(2):31. (In Russ.).
[https://doi.org/10.17150/2072-0904.2015.6\(2\).31](https://doi.org/10.17150/2072-0904.2015.6(2).31).

2. Pokshishevsky V. V. Settlement of Siberia. Irkutsk: Regional State PH; 1951. 208 p. (In Russ.).

3. Belyaev A. V. The historiography of agrarian reforms in Russia in the XX century. *Sotsial'no-ekonomicheskii i humanitarnyi zhurnal Krasnoyarskogo GAU = The Social and economic and humanitarian magazine*. 2018;2:116-127. (In Russ.).

4. Kaufman A. A. Resettlement and colonization. *Gosudarstvennaya publichnaya istoricheskaya biblioteka*. Available from: <http://elib.shpl.ru/ru/nodes/3900-kaufman-a-a-pereselenie-i-kolonizatsiya-spb-1905-biblioteka-obschestvennoy-polzy> [Accessed 13th November 2022]. (In Russ.).

5. Prutchenko S. M. Siberian suburbs: regional institutions associated with the Siberian institution of 1822, in the system of the administration of the Russian state: historical and legal essays: appendices. Saint-Petersburg: Printing house A. S. Suvorina; 1899. 532 p. (In Russ.).

6. Barantseva N. A. Resettlement to Yenisei province in the second half of the XIX - early XX century: ethnosocial and demographic aspects. *Vestnik Chelyabinskogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Chelyabinsk state university*. . 2009;38:33-40. (In Russ.).

7. Leont'ev A. A. Peasant law. Systematic presentation of the features of legislation on peasants. Saint-Petersburg: Zakonovedenie; 1909. 418 p. (In Russ.).

8. Veshnyakov V. I. Ekaterina. The project of Empress Catherine II about the arrangement of free rural inhabitants. Saint-Petersburg: Printing House of the Imperial Academy of Sciences; 1877. 52 p. (In Russ.).

9. Fortunatov A. F. Agricultural statistics of European Russia. Moscow, 1893. (In Russ.).

10. Golovachev D. M. Soldatov V. V. Proceedings of the Agin expedition Issue 7. I. Population. Chita; 1911. 366 p. (In Russ.).

11. Kofod" A. A. Farm settlement. Saint-Petersburg: Newspaper printing house "Sel'skii vestnik"; 1907. 72 p. (In Russ.).

12. Voshchinin V. P. Resettlement and land management in Asian Russia: collection of laws and regulations. G. F. Chirkin (Eds.). Petrograd: Printing house of the Petrograd prison; 1915. 509 p. (In Russ.).

Информация об авторе

Е. В. Пуляевская,

кандидат архитектуры, доцент,
заведующий кафедрой архитектуры и
градостроительства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: pulya.arch@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7153-2301>

Вклад автора

Пуляевская Е. В. провела исследование,
подготовила статью к публикации и несет
ответственность за плагиат.

Information about the author

Evgeniia V. Pulyaevskaia,

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,
e-mail: pulya.arch@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7153-2301>

Contribution of the author

Pulyaevskaia E. V. has conducted the study,
prepared the article for publication and bears the
responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Conflict of interests

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

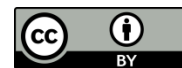
The final manuscript has been read and approved by the author.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 07.11.2022.
Одобрена после рецензирования 23.11.2022.
Принята к публикации 24.11.2022.

Information about the article

The article was submitted 07.11.2022.
Approved after reviewing 23.11.2022.
Accepted for publication 24.11.2022.

**Организация пространства библиотеки ИРНТУ
в аспекте реновации образовательной среды****Александра Николаевна Тарасова¹, Марина Геннадьевна Захарчук²**¹Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», г. Москва, Россия²Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Захарчук Марина Геннадьевна, mgzah@yandex.ru

Аннотация. Цель работы – изучение проблемы модернизации пространства научной библиотеки Иркутского национального исследовательского технического университета по заказу вуза в рамках программы реновации образовательной среды. Объектом проектирования являются интерьеры библиотеки ИРНТУ. Актуальность темы подтверждается острой необходимостью реконструкции образовательного ландшафта в соответствии с изменениями в организации учебного процесса, так как новые формы и методы обучения в университете отражаются и на развитии структуры библиотеки, и на формировании бренда. Новые требования посетителей просты и сложны одновременно: главным достоинством библиотеки должна быть открытость, доступность и комфорт. С одной стороны – предоставление полной информации посредством мобильного, открытого библиотечного фонда документов, отвечающего растущим запросам пользователей, с другой – создание комфортных условий, обеспечивающих этот процесс. Современный посетитель библиотеки оценивает не только технологический потенциал, но и организацию внутренней предметно-пространственной среды. Социальный состав аудитории образовательной организации – студенты и преподаватели, соответственно, объемно-пространственная модель ориентируется на их потребности в доступности, мобильности, простоте использования, технической оснащенности. Социально-демографическая стратификация пространства диктует функциональное, композиционное и цветовое решения. Предлагается формирование новой университетской среды, представлен комплексный процесс проектирования. Уникальное общественное пространство создается за счет концептуального решения и последующей разработки дизайн-проекта.

Ключевые слова: пространство, образовательная среда, реновация, концепция, коворкинг

Для цитирования: Тарасова А. Н., Захарчук М. Г. Организация пространства библиотеки ИРНТУ в аспекте реновации образовательной среды // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 4. С. 639–651. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-639-651>.

Original article**Spatial organisation in the INRTU library with respect to renovation
of educational environment****Alexandra N. Tarasova¹, Marina G. Zakharchuk²**¹National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia,²Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Corresponding author: Marina G. Zakharchuk, mgzah@yandex.ru

Abstract. In this work, the challenges of modernising space in the scientific library of the Irkutsk National Research Technical University within the framework of the program of renovation of the educational environment are addressed. The interiors of the INRTU library were used as a design object. It is necessary to reconstruct the educational landscape following the changes in the educational process, given the new forms and methods of teaching at the university reflected in the development of the

library structure, as well as the brand. The new requirements of visitors are both simple and complex: the main advantages of the library should be openness, accessibility and comfort. On the one hand, comprehensive data should be provided through mobile, open-source library collections, which meet the growing demands of users; on the other hand, comfortable conditions should ensure this process. A modern library visitor evaluates the technological potential, as well as the organisation of the internal subject-spatial environment. The spatial model focuses on the needs of students and teachers (as the social composition of the audience in the educational organisation) for accessibility, flexibility, usability and technical resources. Social and age stratification of space dictates functional, compositional and colour solutions. The development of a new university environment is proposed, with a comprehensive design process being presented. A unique public space is created by a conceptual solution, followed by the subsequent development of a design project.

Keywords: space, educational environment, renovation, concept, coworking

For citation: Tarasova A. N., Zakharchuk M. G. Spatial organisation in the INRTU library with respect to renovation of educational environment. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(4):639-651. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-639-651>.

ВВЕДЕНИЕ

Программирование оптимальной образовательной среды детерминировано целям образовательного процесса, так как особенности физического, предметного окружения создают предпосылки для продвижения студента к желаемому образу, т.е. к знанию. Проблематика организации условий для современной пространства возникает вследствие изменения сущности учебного процесса. Одной из стратегических тенденций в реформировании системы образования является смена парадигмы «образование, приравненное к обучению» на парадигму «образование как становление». Другими словами – это переход от традиционного образования, как усвоения выборочного обработанного информационного материала с целью подготовки студентов к включению их в социально-экономические институты, к образованию с целью прогрессивного развития личности, установления его ниши в социуме и формирования собственного субкультурного пространства.

Библиотека всегда была информационным центром, направляющим свою деятельность на поддержку образования [1]. Научная библиотека Иркутского национального исследовательского технического университета – крупнейший фондодержатель литературы, являющийся методическим центром вуза, в котором неотъемлемой частью работы всегда было просвещение молодежи [2].

Реновация библиотечного пространства – одно из значимых направлений в концепции развития современного образования. Стереотипный образ библиотеки, отпечатавшийся в нашей памяти, необходимо подвергнуть изменениям, так как место, направленное на по-

ощрение саморазвития и обучение необходимо модернизировать в соответствии с нуждами современного потребителя [3]. Меняется ритм жизни, предметная среда, социальные модели и устои, общество требует от современного человека быть активным, инициативным, самостоятельным, с собственными моральными устоями и отличной от других точкой зрения, решать одновременно несколько задач. Новые формы и методы обучения в университете сказываются и на деятельности научной библиотеки, в том числе большое внимание уделяется самостоятельной работе студентов и организационным основам обслуживания [4]. Одна из приоритетных целей библиотечного маркетинга – создание условий для удовлетворения запросов пользователей, развитие коммуникационной среды, удобной для взаимодействия библиотеки и потребителя ее услуг [5]. В связи с этим традиционная типичная модель организации учебной среды становится устаревшей и перестает отвечать потребностям студентов. Необходимость в новом интерактивном, открытом и многофункциональном образовательном пространстве способствовала возникновению новых моделей программирования учебной среды [6].

Современный студент отличается своей мобильностью и включенностью в события, высокой необходимостью в структурировании своей загруженности и возможности ее реализации. На новом этапе помещения университетской библиотеки должны нести не только архивную функцию, но и иметь зоны для совместного проектирования, для индивидуальных занятий, самостоятельной работы студентов; для проведения тренингов, семинаров

и общественных мероприятий, а также тихие зоны рекреации.

Существующая проблема формирует стратегические ориентиры профессионального образования в создании и развитии уникальной многофункциональной модели пространства, где обучающиеся смогут реализовывать свою деятельность одновременно в нескольких направлениях. Данной моделью может стать коворкинг или образовательный хаб, выступающий эффективным комплексом, который формирует новые функциональные позиции модернизированного пространства для всех субъектов процесса обучения. Преимущества проектирования образовательного коворкинга в университетской среде – это открытость пространства, возможность сценирования учебных практик и проектирование внутреннего сообщества, поддержание коммуникационных процессов, диверсификация видов деятельности и трансляция опыта студентов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Теоретическая значимость проведенного анализа заключалась в выявлении тенденции схем и ситуаций проектирования новой образовательной практики, а также в изучении создания учебных коворкингов, законов пространственного зонирования и формулирования художественно-стилевых образов, световых гармоний и анатомии дизайн-проекта в целом. Поэтому методологическая база данного исследования включает в себя научные методы [7] исторических и логических аспектов проблемы.

Первый в мире коворкинг (от англ. *coworking* – *collaboration working*, совместная работа) был реализован 9 августа 2005 г. американским программистом Бредом Ньюбергом. Создание такого типа пространства было вызвано безысходностью вопроса нехватки общения по «нерабочим» вопросам в офисе и отсутствие взаимодействия и мотивации, сниженной производительности дома. Он предложил потенциальным работникам за небольшую плату обустроенное комфортное помещение для совместного труда с бесплатным интернетом, совместными перекусами и катанием на велосипедах. Ньюберг ввел и само понятие коворкинга для обозначения нового вида офисов. Сейчас этот термин обозначает вообще новый подход к организации труда, рабочего и образовательного пространства.

За несколько лет создание коворкинг-про-

странств стало популярным и распространилось по всему миру. Первый российский коворкинг «Башня» открылся в г. Екатеринбурге в 2008 г., вскоре коворкинги появились и других крупных городах, а рынок коворкингов стал актуальной тенденцией. Коворкинг-пространства стали организовывать не только для офисов, но и в качестве образовательных пространств, средств коммуникации учащихся на разных уровнях системы образования в вузах, школах, библиотеках и арт-пространствах¹.

Такая модель организации учебной среды отвечает современным потребностям обучающихся за счет

- деловой атмосферы, соответственно, искореняется проблема прокрастинации – отвлечения студента на ненужные дела, откладывание актуальных задач, проблема самонастроения и самомотивации, включения в работу;

- открытого сообщества людей с разными профессиональными навыками, периодических семинаров и лекций, что способствует обмену опытом, мотивации, коммуникации, новым проектам и знакомствам и, соответственно, возникновению нетривиальных решений задач;

- психологически-защищенных частных зон для индивидуальной работы и специализированных пространств с группами определенной сферы деятельности;

- технической оснащенности, интерактивности и наличия удобных коммуникаций для выполнения разных типов задач;

- зоны отдыха для психологического комфорта и снижения утомляемости студентов;

- гибкого, мобильного пространства, возможности его реорганизации под конкретные задачи, что способствует эффективности, высокой производительности и продуктивности студентов, возможности выполнять несколько задач одновременно и выработке самонеджмента [8].

Среда напрямую воздействует на психологическое состояние участников образовательного процесса, соответственно, влияет на эффективность реализации учебной деятельности. На студента оказывает влияние как внутреннее пространство, его габариты и структура, степень открытости и закрытости, а также гибкость и возможность трансформирования при необходимости, так и человеческие факторы, составляющие социальную плотность субъектов обучения, изменение частного пространства, степень скупенности².

¹Коворкинг // Wikipedia.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Коворкинг> (04.05.2022).

²Безрукова В. С. Проектная педагогика. Екатеринбург: Деловая книга, 1996. С. 201–230.

Проектирование университетской среды является переменной, зависимой от двух факторов: специфики образовательной программы и специфики субъектов процесса. Но в независимости от этих факторов существуют принципы программирования комфортной образовательной среды: многофункциональность – намеренное создание новых функций для заданного пространства и расширение его спектра использования. При таком принципе проектирования необходимыми составляющими являются:

- создание центральных точек притяжения;
- подразделение пространственного программирования на жесткую и гибкую зоны для узконаправленных видов деятельности и деятельности, не требующей специализированного оборудования соответственно;
- увеличение полезной площади за счет многоуровневых подиумных конструкций;
- трансформация и модульность – возможность быстрой реорганизации пространства, его расширения или сокращения, планировочного изменения с целью решения разнообразных учебных задач³.

Составляющими этого принципа являются: трансформируемые перегородки и акустические панели; штабелируемая мебель; фальшпол – устройство розеток на полу с возможностью их перемещения в пространстве; интерактивные, графитные, пробковые, магнитные и маркерные поверхности. А главное – функциональное зонирование для создания динамичного, ситуативного пространства с включением узконаправленных и многофункциональных зон и необходимых составляющих:

- конструирование «тихих» (приватных, психологически-защищенных мест сосредоточения) и «шумных» зон (для коллективной, проектной работы и социальных коммуникаций);
- обозначение границ зон различного назначением за счет дизайн-оформления;
- конвергентность – целенаправленное присвоение нетипичных функций пространствам, их совмещение с целью реализации временных или постоянных задач.

Вариация решения: использование и оборудование коммуникационных пространств, например, коридоров; отсутствие выраженных границ между зонами различного назначения; установка центральной лестницы-амфитеатра, выполняющей социальную, коммуникационную и рекреационную функции. Кроме того, про-

странственная открытость – интеграция образовательного пространства в общее помещение с тенденцией использования прозрачных перегородок, что подчеркивает принцип единства всех субъектов образовательного процесса, а также принцип свободного выбора рода занятий³.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Опираясь на исследование опыта проектирования полифункциональной предметно-пространственной среды, были сделаны выводы о том, что современную университетскую среду выгодно создавать как толерантное, комфортное, ситуационно-мобильное и уникальное имиджевое пространство. Поиск форм, композиции, стилевых решений, структурного наполнения помещений и их цветового решения закладывались на основе принципов доступности на базе социальной стратификации, особенностей пространственного наполнения и актуальных тенденций в проектировании интерьеров. А помимо создания комфортного многофункционального пространства в образовательных целях задачей реновации библиотеки стало и формирование имиджа пространства, как транслятора о вузе на широкую аудиторию. Поэтому проектом организации пространства библиотеки в аспекте реновации образовательной среды предполагается создание новой университетской среды на основе изменения инфраструктуры пространства библиотеки путем комплексного, многоэтапного процесса модернизации:

- функционального зонирования;
- гибких интерьеров для организации образовательной среды;
- предметно-пространственной организации свободных зон/зон рекреации;
- графического содержания и цветовых схем.

Целью предпроектного анализа стало формирование целостного образа объекта проектирования, реализующегося за счет задач, в которые входит исследование исходной ситуации. Прежде всего, предпроектный анализ – это выявление сложившейся средовой ситуации и существующего положения, ее специфических и характерных особенностей, условий, обстоятельств и правил эксплуатации. Также это начальный этап сбора первичной информации из сложившегося контекста для дальнейшего программирования пространства, выбора способа улучшения ситуации, определения характера структуры, планирования про-

³Принципы организации современной образовательной среды // Edudesign.ru [Электронный ресурс]. URL: https://edudesign.ru/space_principles (16.05.2022).

странственных и художественных черт – неотъемлемая часть проекта, влияющая на дальнейшее решение проектных задач и компоновку собранной информации в новую схему/модель.

В настоящее время помещения библиотеки ИРНИТУ имеют невыразительные интерьеры: плохая функциональная организация, неинтересная внутренняя отделка и мебельное наполнение, поэтому целью проекта является создание современной открытой и многозадачной университетской среды на базе существующей библиотеки. Итогом проведенного предпроектного анализа является поиск и формирование концепции/сложившегося образа дизайн-проекта, в процессе которого были оценены композиционные качества объекта и существующее функциональное зонирование, разработана объемно-пространственная организация, пластика и формообразование составных элементов интерьера, определены направления дальнейшей работы и закреплены идеи в виде графических референсов.

В качестве модели организации пространства был выбран «образовательный/учебный коворкинг», который отвечает потребностям студентов за счет деловой атмосферы, технической оснащенности, открытого сообщества людей, зон отдыха, психологически-защищенных частных зон для индивидуальной работы и специального пространства для групповой работы, а также и функциональной мобильности:

- деловой атмосферы, где решается проблема прокрастинации – отвлечение студента на ненужные дела, проблема самонастроения и включения в работу;

- открытого сообщества людей с разными профессиональными навыками, что способствует трансляции опыта, возникновению нетривиальных решений задач;

- технической оснащенности – интерактивность и наличие удобных коммуникаций;

- зон отдыха для снижения утомляемости студентов;

- психологически-защищенных частных зон для индивидуальной работы и специального пространства для групповой работы;

- гибкость и мобильность интерьеров – возможность сценирования учебных практик и проектирования внутреннего сообщества.

Одной из важных задач архитектурно-дизайнерского проектирования являются приведение функционально-технологических процессов, протекающих в здании, в определен-

ную ясную систему и определение на этой основе взаимосвязи между отдельными помещениями или их группами⁴ [3, 9].

В существующей ситуации общая площадь общественного пространства была поделена на входную зону, зону хранения, служебную и учебные зоны. С помощью принципа совмещения было достигнуто соответствие необходимых требований – взаимосвязи функциональных процессов. За счет грамотного зонирования определены зоны различных видов занятий, а также зоны отдыха и общения, что оптимизировало комфортную деятельность обучающихся и сотрудников университета:

- «Зал курсового и дипломного проектирования»: для организации самостоятельной работы;

- «Научный/аспирантский зал»: для обеспечения работы с научными информационными ресурсами, преподавателям, научным сотрудникам, аспирантам;

- «Тихая зона/зона отдыха»: место для индивидуальной или групповой работы, где студенты смогут скоротать время в ожидании автобуса или в перерыв между парами;

- «Свободная зона»: открытое пространство для отдыха и работы;

- «Центр образовательных ресурсов/пространство самообразования»: для индивидуальной и командной самостоятельной работы, презентационная зона;

- «Пространство развития»: для научной и проектной работы;

- «Единая справочная служба»: организация информационного обслуживания, профорientационной работы, формирования электронных баз данных, выставок и каталогов, маркетинговой и рекламно-имиджевой деятельности.

Кроме этого была поставлена задача создания имиджа библиотеки, так как статус университета играет не только общественную роль, но также социальную и профорientационную, становится брендом, транслятором на потребительскую аудиторию вуза.

При разработке дизайн-концепции выбран стиль «минимализм» с включением близких ему «конструктивизма» и «индустриального» стиля, соответственно, новые интерьеры функциональные, простые и доступные.

Цвет – один из эффективных визуальных инструментов дизайнера, передающий общий характер среды и определяющий бренд, который задает атмосферу помещений, подчеркивает уникальность и зонирование. Это сильный

⁴Фомина В. Ф. Архитектурно-конструктивное проектирование общественных зданий: учеб. пособие. Ульяновск: УлГТУ, 2017. 97 с.

психологический триггер: цвет вызывает эмоции, изменяет восприятие, концентрирует или, наоборот, рассеивает внимание. Цветовая гармония – это эстетически значимая, колористически закономерная взаимосвязь в композиции предметного художественного творчества и дизайна⁵ [9].

Ориентиром при выборе гармоничной палитры и формировании цветовых схем для проекта стала целевая аудитория, ее пол, возраст и социальные статус, а также функциональная значимость зоны. За основу цветовой гаммы проекта были выбраны нейтральные цвета: белый, который отражает все составляющие цветового спектра и черный, который поглощает. Это классический симбиоз, создающий базу для комфортной колористической среды. Кроме того, излюбленные цвета приверженцев минимализма, черный и белый – контрастность и графичность – должны присутствовать в минималистичном интерьере [10].

Помещения – «Зал курсового и дипломного проектирования», «Научный зал», «Тихая зона», «Свободная зона», «Пространство самообразования», «Пространство развития» – решаются в ахроматической цветовой гамме с добавлением цветовых акцентов.

Так в зонах «Пространство самообразования» и «Пространство развития» акцентным доминирующим цветом являются оттенки красного и бордового, что способствует повышению производительности студентов в сжатые сроки: он оптимален в зонах работы, ориентированной на детали, возбуждает и повышает работоспособность, а в зоне «Зал курсового дипломного проектирования» акценты создают синий ультрамарин и его оттенки. Его сильные качества – концентрация внимания и умиротворение.

Композиция пространства «Зал курсового и дипломного проектирования» структурируется металлической конструкцией, зрительно разбивающей пространство на функциональные зоны:

- застекленное пространство переговоров, оборудованное большим столом и шестью подвесными стульями;

- компьютерное пространство с настольными акустическими перегородками и подвесной шторой, способными сделать эту зону закрытой;

- открытая зона амфитеатра, оснащенного столиками и мягкими велюровыми стульями, а также настенным проектором и электрическими розетками.

Акценты создаются за счет подвесных потолочных ламп пластичной формы и неоновых вывесок с мотивационными фразами на стенах, а также цветовыми ультрамариновыми акцентами (рис. 1, а).

Динамичность композиции «Научного/ аспирантского зала» достигается за счет длинного барного стола из темного дерева «венге» вдоль всего пространства; ритм – за счет размещения золотых металлических конструкций с подвесными столами и большими мягкими подушками вдоль окон; точность композиции – невысокими пропорциональными формами в мебельном оформлении и геометричностью. Главный «концепт» – современность, самодостаточность и демократизм. Отделка поверхностей: стены – светлая декоративная рельефная штукатурка, пол – кафельная плитка. Акценты создаются за счет золотого вкрапления в мебельной отделке, фурнитуре, конструкциях освещения, стеновой панели и декоративной металлической карте на стене, а так же авторской графикой на велюровой отделке барных стульев и плитке, надписях на стенах (рис. 1, б).

Спокойствие интерьера в «Тихой зоне» достигается однообразием форм и материалов, а также простым цветовым колоритом, состоящим из нейтральных цветов – черного и белого, с преобладанием последнего, задающего незагруженное комфортное пространство релаксации. Открытость достигается естественным светом большого окна в центре комнаты.

Отделочные материалы – простые: светлая структурная штукатурка и светлый кафель с контрастной черной разливкой, неброский матовый металл и текстиль. Принцип функционального зонирования поддерживается серой акустической шторой, позволяющей студентам разграничивать пространство на отдельные зоны.

Мебельное наполнение – консольные лавочки по периметру комнаты, прикрепленные к стенам, с большими подушками, разными по форме, принту и обивочному материалу, мягкие подвесные шары и большой пуф в виде куба. Фигурные линии светодиодной подвесной лампы спорят с прямолинейностью композиции, линейностью предметного наполнения и структурными подвесными лампами над столиками, создавая контрасты и разнообразие в интерьере (рис. 1, в).

«Свободная зона» исполняет роль коммуникации между функциональными зонами библиотеки, а также является открытым пространством для непродолжительного время-

⁵Медведев В.Ю. Цветоведение и колористика: учеб. пособие. С-Пб.: ИПЦ СПГУТД, 2015. 116 с.

провождения студентов и гостей. В интерьере используются светлые оттенки серого, белого и охристая палитра, акцентами выступают графитный черный на стенах и металлический золотой в фурнитуре, а также стекло. Отделка: сдержанная монохромная декоративная штукатурка, настенные 3D-панели с различной фактурой, крупная керамическая плитка (рис. 2, а).

Мебельное наполнение герметичных форм с четкими прямыми линиями занимает 30% площади коммуникационного помещения – это зона с объемной «пустотой», создающей визуально свободное пространство.

Концепция «Пространства самообразования» заключается в создании помещения для нестандартных форм обучения. Студенты получают возможность выбора наиболее комфортной зоны для решения проектных задач. Для групповой «фронтальной» формы образования создана зона с проектором, для «горизонтальной» – зона с длинными объединенными столами, а для индивидуальной – зона с отдельными столиками.

Доминантными элементами композиции являются красные модули скамей разных форм, собранные вместе в иррегулярную пластичную линию. Мебельное наполнение: мягкие подвесные пуфы с графикой на обивке, упругая сетка в зонах отдыха; барные индивидуальные столы, прикрепленные к аркам; объединенные столы – в рабочей зоне.

Целостность пространства создается за счет выстраивания ритмов, динамичность – иррегулярным размещением модулей, акценты – локальным вводом бордового цвета и графического сопровождения на стенах, арках и обивке, образы конструктивизма – сочетанием плотности и структурированности в объемно-пространственном наполнении (рис. 2, б).

«Пространство развития» – зона совместного и индивидуального студенческого проектирования. Геометрия пространства создается за счет мебельного наполнения: черный амфитеатр, состоящий из каменных кубов и кубиков с текстильной «бархатной» отделкой, прямоугольные светлые модульные столы с контрастной черной окантовкой, линейный вытянутый стол, переходящий в лавочку, застекленные прямоугольные кабинки, приставные столики и барные стулья минималистичных форм.

Функциональная насыщенность обеспечивается мобильностью предметного наполнения и разделением пространства на индивидуальные и общественные зоны. Цветовое решение:

акцентное вкрапление бордового цвета и его оттенков (рис. 2, с).

В зале с функцией «Единой справочной службы» необходимо создать комфортное пространство для ожидания. Доминантой интерьера стала графика, создающая выразительные фокусные точки. Так, «черно-белая» с сюжетом «очереди» размещается на боковой стене, где из оборудования – только объединенные кресла с небрежной графикой на обивке, которые благодаря «ахроматичности» визуально не раздражают и не отвлекают внимание. По периметру наружной стены с оконными проемами размещены подвесные диваны, рядом приставлены столики.

Все предметное наполнение минималистичное, но необычное – линейное, что создает 2D-эффект/эффект эскиза. Стена за информационной стойкой оформлена объемной 3D-панелью с черно-белой графикой. Преимущество такой отделки заключается в визуальном размытии границ между функциональными зонами и формировании единого объема (рис. 1, с).

Гибкая среда – это придание пространству нескольких функций, обязательными составляющими которой является зона коллективного проектирования и зона индивидуальных работ. Функциональное разделение осуществляется с помощью контрастов: деревянного амфитеатра для общения, подвесных стеклянных капсул и открытого неограниченного пространства в зоне коммуникаций, а напротив – индивидуальных застекленных кабинок, вмещающих принтованные в «гусиную лапку» и акцентированные бордовым бархатом стулья, стол и индивидуальные подвесные плафоны светильников в зоне для самостоятельной работы. Среда отдыха – это обязательная составляющая дизайн-проекта организации среды обучения. Потребность студента в разгрузке и восстановлению сил, нормализации жизненно-необходимых функций организма представляет такую же потребность, как и потребность в знании.

Кроме того, рекреация – одно из популярных направлений дизайна интерьеров. Композиционное решение зоны отдыха: полукруг ступеней амфитеатра из натурального дуба, декорированного подушками с графическими паттернами и вкраплением желтого цвета, и центрально расположенной потолочной люстры с большим количеством подвесных лампочек, способных принимать различные формы, а также ритмом металлического структурного столика черного цвета, который дает «брутальность» и контрастирует с мягкими текстильными креслами.



a



b



c

Рис. 1. Организация пространства библиотеки ИРНИТУ в аспекте реновации образовательной среды. Виды: а – Зал курсового и дипломного проектирования; б – Научный зал; с – Тихая зона и Единая справочная служба, автор – А. Н. Тарасова, руководитель – М. Г. Захарчук

Fig. 1. Organization of the INRTU library space in the aspect of renovation of the educational environment. Types: a – Coursework and diploma design hall; b – Research Hall; c – Quiet zone and Unified Reference Service, author – A. N. Tarasova, supervisor – M. G. Zakharchuk



a



b



c

Рис. 2. Организация пространства библиотеки ИРНТУ в аспекте реновации образовательной среды. Виды: а – Свободная зона; б – Пространство самообразования; с – Пространство развития, автор – А. Н. Тарасова, руководитель – М. Г. Захарчук

Fig. 2. Organization of the IRNTU library space in the aspect of renovation of the educational environment. Types: a – Free zone; b – Self-education space; c – Development space, author – A. N. Tarasova, supervisor – M. G. Zakharchuk

Помимо классического зонирования мебели и акустическими перегородками возможно световое зонирование, не сокращающее общую площадь помещения, и создающее необходимый эффект, влияющий на восприятие пространства. Сценарий освещения варьируется в зависимости от габаритов помещения и количества функциональных зон. Главные преимущества такого зонирования – это вариативность, компактность и простота демонтажа. Для правильного светового зонирования необходимо комбинирование естественного и искусственного освещения, теплого мягкого света, подчеркивающего расслабленность атмосферы, и холодного, яркого белого света, настраивающего на работу.

При световом зонировании библиотечные залы были поделены на зоны с преимущественно прямым светом: свет сфокусирован на определенной области или объекте, создает яркие световые пятна и грубые четкие тени; зоны с непрямым светом, где свет направлен вверх к потолку и создает однотонное бестеневое освещение; зоны с рассеянным светом – сочетание прямого и непрямого освещения, где свет ненавязчивый, равномерно распределен, мягкий и не оставляет жестких теней и отражения. Так, рассеянное освещение используется в «Тихой зоне» и «Зоне самообразования»; прямое – в «Зале курсового и дипломного проектирования», в «Научном/аспирантском зале» и в «Пространстве развития», а не прямое – в «Свободной зоне» и санузлах. Носителем бренда вуза стало графическое оформление и визуальные коммуникации на различных поверхностях. В разработанном проекте настенные росписи вододисперсионной краской выполнены в линейных несложных формах, типографических трафаретных надписях информирующего характера, вдохновляющих коллажах и навигационных знаках. Концепция раскрывается в различных символах и образах, но при этом выступает единой ассамблеей, которая работает на больших белых пространствах стен и напольных покрытиях. Темп и ритм выступает в соответствии с назначением помещения: интенсивная визуальная концентрация предусматривается в местах массового сосредоточения студентов, зонах отдыха и коллективной работы, а снижается в коридорах и зонах самостоятельных работ, где отсутствует необходимость концентрации внимания.

Настенная роспись выполнена «от руки»:

упор делается на стилизованность и упрощенность – это одна из форм «легко объяснить сложное». Черный цвет и «эффект мела» так же подчеркивают простоту и нарочитую небрежность.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современный период развития страны характеризуется переходом от индустриального общества к обществу постиндустриальному, базирующемуся на информации, знаниях и инновационных технологиях как основных социально-культурных ценностях, что меняет среду, методы и модели образования [11].

В современных университетских кампусах и научно-образовательных центрах публичное и общественное пространство всегда важнее личного, что провоцирует рост его капитала, поскольку общественное пространство порождает социальные взаимодействия между студентами, а также между студентами и преподавателями [12], создавая комфортную среду для развития образования.

В основу концепции организации пространства библиотеки ИРНТУ в аспекте реновации образовательного ландшафта легло создание современной гибкой среды, где реализуется принцип трансформации общественного пространства под различные задачи. Коворкинг пространства – это актуальное направление в организации учебных, проектных и профессиональных механизмов, ориентированных как на коллективные, так и на индивидуальные задачи. Создание таких пространств делает университетскую среду доступной и удобной.

Признаком современного кампуса и одним из критериев, необходимых для устойчивого развития университета, является высокое качество архитектурно-пространственной среды, которая отвечает повышенным требованиям к уровню жизни и учебы, в то же время привлекает лучших специалистов и иностранных студентов, характеризуется наличием внутренних общественных пространств [13]. Проблема выразительности художественной формы в интерьерном пространстве, ее воздействие на эмоциональные ощущения зрителя, потребителя всегда волновали и теоретиков, и практиков дизайна [14].

Понятие «образ среды» трактуется как конкретное представление о средовом объекте, закрепленное в сознании его характерными чертами и визуальными впечатлениями, передающими эмоционально-эстетическое, духовное содержание этого объекта⁶ [15]. Образ, как

⁶Минервин Г. Б., Шимко В. Т., Ефимов А. В., [и др.]. Дизайн. Иллюстрированный словарь-справочник. М.: Архитектура, 2004. 395 с.

единство чувственного и смыслового в объекте дизайна, имеет предметное, смысловое и эмоционально-выразительное значение, носит знаковую функцию продукта дизайна [16].

На базе исследования и анализа опыта передовых стран путем модернизации библиотеки ИРНТУ была создана новая, уникальная, креативная и комфортная научная среда, выполнено графическое сопровождение и визуальные коммуникации. Итогом работы является интеграция и синтез результатов для формирования дизайн-концепции, выраженной в материально-технической форме, качественная и количественная формулировка эскизов в чистовую проектную идею.

За основу организации пространства библиотеки ИРНТУ принят стиль «минимализм»: свободное пространство, функциональность предметного наполнения, геометричность форм, монохромность и цветовые акценты – все это способствует концентрации внимания обучающихся, продуктивности выполняемой ими работы, смысловому наполнению, поиску новых решений и мотивации.

Статус высшего учебного заведения в настоящее время играет роль не только общественного института, но и социальную, и профориентационную. Также это площадка для самообразования и сообщества единомышленников, пространство реализации конференций, лекций и мастер-классов.

Новая библиотека должна стать инновационным пространством развития и превратиться в настоящий центр знаний, науки, культуры, искусства и общественной деятельности, соответствующий веку цифровых технологий и потребностям современных студентов⁷.

Соответственно, университет обретет бренд с собственным имиджем, который определяется формой и содержанием дизайн-проекта.

Таким образом, на основе актуальной тенденции по созданию «учебных коворкингов» разработана современная среда университетской библиотеки как толерантное, комфортное, ситуативно-мобильное и престижное пространство.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Адодина Н. Х. Библиотека как современный информационно-культурный центр профессиональной образовательной организации // Образование. Карьера. Общество. 2016. № 4 (51). С. 3–6.
2. Кипа И. Н. Библиотека: история и современность // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2003. № 3 (11). С. 129–134.
3. Леушкина А. А. Захарчук М. Г. Формирование нового пространства как опыт переосмысления роли библиотеки // Молодежный вестник ИрГТУ. 2021. Т. 11. № 4. С. 71–77.
4. Смольянов А. В., Сыромясова Е. М. Научная библиотека университета в прошлом и настоящем // Интеграция образования. 1997. № 3. С. 42–46.
5. Редькина Н. С., Драцкая М. Ю. Внедрение инноваций в технологические процессы научной библиотеки в условиях развивающейся веб-среды // Библиосфера. 2012. № 2. С. 33–42.
6. Кондаков А. М. Образование как ресурс развития личности, общества и государства: монография. СПб.: СпецЛит., 2004. С. 37–41.
7. Пуляевский П. Е., Захарчук М. Г. Регенерация исторической деревянной городской среды: практика реставрации и перемещения объекта культурного наследия // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2021. Т. 11. № 3 (38). С. 532–543. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-532-543>.
8. Савина Н. В. Организация студенческого коворкинга [Электронный ресурс] // Научно-методический электронный журнал «Концепт». 2016. Т. 15. С. 2106–2110. URL: <http://e-koncept.ru/2016/96341.htm> (07.05.2022).
9. Петухова Д. П., Захарчук М. Г. Выбор концептуального решения предметно-пространственной среды школы искусств для повышения творческого уровня учащихся // Молодежный вестник ИрГТУ. 2020. Т. 10. № 3. С. 30–35.
10. Сергеева Е. К. Дизайн интерьерной среды на примере стиля «минимализм» // Вестник магистратуры. 2016. Т. 1. № 2 (53). С. 115–116.
11. Кукьян В. Н., Швецова Н. А. Новые ценности образования в информационном обществе, противоречия их формирования // Вестник Челябинского государственного университета. 2011. № 18 (233): С. 31–37.
12. Höger K. Campus and the city. Urban design for the knowledge society [Электронный ресурс] // Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.no. URL: https://www.ntnu.no/c/document_library/get_file?uuid=1f34b60b-9cb2-4a3a-a869-02d76e25a7b7&groupId=10310 (11.10.2022).
13. Пучков М. В. Опыт пространственной организации современных университетских комплексов // Университетское управление: практика и анализ. 2011. № 2 (72). С. 30–39.

⁷Как пройти в библиотеку? // Livejournal.com [Электронный ресурс]. URL: <http://omia.livejournal.com/105654.html> (22.09.2022).

14. Слесарева Г. В., Сычева В. В. Визуальное восприятие интерьерного пространства на зрителя // Бизнес и дизайн ревю. 2018. № 1 (9). С. 11.
15. Трусов Ю. В. К проблеме художественного образа в дизайне интерьера // Вестник Адыгей-

ского государственного университета. Серия 2: Филология и искусствоведение. 2010. № 1. С. 207–210.
16. Терещенко Г. Ф. Эволюция художественного образа в дизайне интерьера // Культурная жизнь Юга России. 2016. № 3 (62). С. 49–52.

REFERENCES

1. Adodina N. Kh. Library as a modern information and cultural center of a professional educational organization. *Obrazovanie. Kar'era. Obshchestvo*. 2016;4:6-7. (In Russ.).
2. Kipa I. N. Library: history and modernity. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of the Altai state agrarian university*. 2003;3:129-134. (In Russ.).
3. Leushkina A. A., Zakharchuk M. G. Creating a new space as an experience of rethinking the role of the library. *Molodezhnyi vestnik IrGTU = ISTU Bulletin of Youth*. 2021;11(4):71-77. (In Russ.).
4. Smolyanov A. V., Syromyasova E. M. Scientific library of the university in the past and present. *Integratsiya obrazovaniya = Integration of education*. 1997;3:42-46. (In Russ.).
5. Redkina N. S., Dratskaya M. Yu. Innovations implementation in technological processes of a scientific libraries in the evolving web environment. *Bibliosfera = Bibliosphere*. 2012;2:33-42. (In Russ.).
6. Kondakov A. M. Education as a resource for the development of the individual, society and the state. Saint Petersburg: SpetsLit; 2004. p. 37-41. (In Russ.).
7. Pulyaevsky P. E., Zakharchuk M. G. Regeneration of historic wooden urban realm: restoration and relocation of a cultural heritage object. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2021;11(3):532-543. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-532-543>.
8. Savina N. V. Organization of student coworking. *Elektronnyi nauchno-metodicheskii zhurnal «Kontsept» = Electronic scientific and methodological journal "Concept"*. 2016;15:2106-2110. Availa-

ble from: <http://e-koncept.ru/2016/96341.htm> [Accessed 5th July 2022]. (In Russ.).
9. Petukhova D. S., Zakharchuk M. G. The choice of a conceptual solution of the subject-spatial environment of school of arts to increase students' creative level. *Molodezhnyi vestnik IrGTU = ISTU Bulletin of Youth*. 2020;10(3):30-35. (In Russ.).
10. Sergeeva E. K. Interior environment design by the example of the style "minimalism". *Vestnik magistratury*. 2016;1(2):115-116. (In Russ.).
11. Kukyan V. N., Shvetsova N. A. New values of education in the information society, contradictions of their formation. *Vestnik Chelyabinskogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Chelyabinsk State University*. 2011;18:31-37. (In Russ.).
12. Höger K. Campus and the city. Urban design for the knowledge society. *Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.no*. Available from: https://www.ntnu.no/c/document_library/get_file?uuid=1f34b60b-9cb2-4a3a-a869-02d76e25a7b7&groupld=10310 [Accessed 11th October 2022].
13. Puchkov M. V. Experience of spatial organization of modern university complexes. *Universitetskoe upravlenie: praktika i analiz = Journal university management: practice and analysis*. 2011;2:30-39. (In Russ.).
14. Slesareva G. V., Sycheva V. V. Visual perception of interior space on the viewer. *Biznes i dizain revyu*. 2018;1:11. (In Russ.).
15. Trusov Yu. V. To an artistic image problem in design of an interior. *Vestnik Aдыгейского государственного университета. Seriya 2: Filologiya i iskusstvovedenie*. 2010;1:207-210. (In Russ.).
16. Tereshchenko G. F. Evolution of the artistic image in interior of design. *Kul'turnaya zhizn' Yuga Rossii*. 2016;3:49-52. (In Russ.).

Информация об авторах

А. Н. Тарасова,
магистрант,
Национальный исследовательский
университет «Высшая школа экономики»,
101000, г. Москва, ул. Мясницкая, 20, Россия,
e-mail: alexandra.tar1999@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-7625-3998>

Information about authors

Alexandra N. Tarasova,
Master Degree Student,
National Research University Higher School
of Economics,
20 Myasnitskaya St., Moscow 101000, Russia,
e-mail: alexandra.tar1999@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-7625-3998>

М. Г. Захарчук,

доцент, доцент кафедры монументально-декоративной живописи и дизайна
им. В. Г. Смагина,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: mgzah@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-4285-3186>

Marina G. Zakharchuk,

Associate Professor, Associate Professor
of the Department of Monumental and Decorative
Painting and Design named after V. G. Smagin,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: mgzah@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-4285-3186>

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 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 05.10.2022.
Одобрена после рецензирования 01.11.2022.
Принята к публикации 02.11.2022.

Information about the article

The article was submitted 05.10.2022.
Approved after reviewing 01.11.2022.
Accepted for publication 02.11.2022.

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);
- 2.1.7. 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);
- 08.00.05 – Экономика и управление народным хозяйством: экономика, организация, управление предприятиями, отраслями, комплексами (строительство), управление инновациями, региональная экономика (экономические науки) (РИНЦ).

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 *.doc 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 – 200;
- **Ключевые слова** – (4–6);
- **Библиографические ссылки** должны быть соответственно оформлены:

1 вариант: Библиографический список – приводится русскоязычный вариант вместе с зарубежными источниками. Оформляется согласно ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления». Ссылки на электронные документы должны оформляться согласно ГОСТ 7.82-2001 «Библиографическая запись. Библиографическое описание электронных ресурсов». Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

2 вариант: *References* (для зарубежных баз данных) – приводится полностью отдельным блоком, повторяя список литературы к русскоязычной части, независимо от того, имеются или нет в нем иностранные источники. Если в списке есть ссылки на иностранные публикации, то они полностью повторяются в списке, готовящемся в романском алфавите.

В статье должны быть ссылки на иностранные источники, изданные не ранее, чем за последние 5 лет, свидетельствующие о том, что автором изучен вклад ученых разных стран в исследование проблемы.

- **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.
- **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, 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.

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, Никишиной О.В.

Телефон: (3952) 40-56-11, с.т.: 8 964 656 46 70 – Никишина Ольга Валерьевна, ответственный за выпуск,
(3952) 40-54-92 – Акулова Ирина Николаевна, редактор.

**ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ
ИНВЕСТИЦИИ. СТРОИТЕЛЬСТВО. НЕДВИЖИМОСТЬ**

Научный журнал

12+

Том 12 № 4 (43)

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. Н. Акулова

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 30.12.2022. Формат 60 x 90 / 8 (А4).
Бумага офсетная. Печать цифровая. Усл. печ. л. 23,20.
Тираж 500 экз. Зак. 155. Поз. плана 6н.

Издание распространяется бесплатно

ФГБОУ ВО "Иркутский национальный исследовательский технический университет"
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

Отпечатано в типографии Издательства
ФГБОУ ВО "Иркутский национальный исследовательский технический университет"
Адрес типографии: 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83А



ВЫСШАЯ
АТТЕСТАЦИОННАЯ КОМИССИЯ (ВАК)
Министерства образования и науки Российской Федерации



РОССИЙСКИЙ ИНДЕКС
НАУЧНОГО ЦИТИРОВАНИЯ
Science Index



CYBERLENINKA

OPEN  ACCESS



INDEX  COPERNICUS
INTERNATIONAL

Google Scholar



АНРИ

Ассоциация научных
редакторов и издателей

