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

12+

IZVESTIYA VUZOV
Investitsii
Stroitelstvo
Nedvizhimost

ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ

ИНВЕСТИЦИИ
СТРОИТЕЛЬСТВО
НЕДВИЖИМОСТЬ

Том 12 № 1
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 № 1
Vol.

ИЗДАТЕЛЬСТВО
Иркутского национального исследовательского технического университета

PUBLISHERS
of Irkutsk National Research Technical University
2022

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

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

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

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

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

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

Учредитель-издатель:
ФГБОУ ВО Иркутский национальный исследовательский технический университет

Подписной индекс в ООО «Урал-Пресс» - 41511
Адрес ООО «Урал-Пресс»:
620026, Свердловская область, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, д. 130

Адрес учредителя, издателя и редакции:
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83
e-mail: izv_isn@istu.edu

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

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

ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», 2022

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

FSBEIHE “Irkutsk National Research Technical University”, 2022

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)
Сетогути 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)
Nguen 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)
Urkhanova 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)

Известия вузов
Инвестиции. Строительство. Недвижимость

Том 12 № 1 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Викторов М. Ю., Яськова Н. Ю. Стратегические ракурсы развития строительства: направления, трансформации, человеческий капитал 10

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. СТРОИТЕЛЬСТВО

Величкин В. З., Петроченко М. В., Птухина И. С., Городишенина А. Ю. Методика оптимизации затрат строительных компаний при реализации общей технологии возведения объекта 20
Дмитриева Т. Л., Кудрин В. Г., Деордиев С. В. Пути повышения эффективности исследований по авариям сооружений из стали 28
Душин А. С. Оценка адекватности модели вероятностных отборов воды и распределения потоков реальным процессам, происходящим в системах подачи и распределения воды 40
Журавлев Е. Г., Михалев М. П., Журавлев А. Е. Судебная строительно-техническая экспертиза линейных объектов 52
Лавыгина О. Л., Гребнева О. А., Алексеев А. В. Снижение экологических рисков при реализации мероприятий по реконструкции системы водоотведения на территории центральной экологической зоны оз. Байкал 62
Гевара Рада Л. Т., Пешков В. В., Мартьянов В. И., Радионова Е. А., Бужеева Ф. Г., Сайбаталова Е. В. Технологии информационного моделирования (BIM) как основа бережливого строительства 70
Мороз М. В., Витязева М. М. Оценка возможности применения расчета тепловой мощности системы отопления с помощью программного комплекса *Autodesk Revit* 82
Пешков А. В., Матвеева М. В., Безруких О. А., Рогов Д. С. Обеспечение процессов контроля качества на всех этапах жизненного цикла объектов капитального строительства в рамках концепции «Строительство 4.0» 90
Пинус Б. И., Корнеева И. Г. К вопросу контроля усталостных изменений прочности изгибаемых железобетонных элементов 98
Чупин В. Р., Мартьянов В. И., Матвеева М. В. Оптимизация параметров систем водоснабжения и водоотведения на основе минимизации затрат их жизненного цикла 104
Шелехов И. Ю., Рупосов В. Л., Шелехова А. И., Воронцова Ю. С. Анализ потребности в электротермическом оборудовании производителей сельскохозяйственной продукции на территории Республики Бурятия 114

АРХИТЕКТУРА. ДИЗАЙН

Хао Цзини, Козлов В. В. Особенности развития современных городских парков на примере города Баотоу 124

CONTENTS

Proceedings of Universities
Investment. Construction. Real estate

Том 12 № 1 2022

CONTENTS

ECONOMICS AND MANAGEMENT

Viktorov M. Yu., Yaskova N. Yu. Strategic aspects in construction development: directions, transformations, human capital 10

TECHNICAL SCIENCES. CONSTRUCTION

Velichkin V. Z., Petrochenko M. V., Ptukhina I. S., Gorodishenina A. Yu. Methodology for optimising costs of the construction company for the management of the general object construction technology 20

Dmitrieva T. L., Kudrin V. G., Deordiev S. V. Approaches to enhancing the efficiency of research into accidents of steel structures 28

Dushin A. S. Assessment of the adequacy of probabilistic water sampling and flow distribution model to the real processes in the water supply and distribution systems 40

Zhuravlev E. G., Mikhalev M. P., Zhuravlev A. E. Forensic construction and technical audit of infrastructural facilities 52

Lavygina O. L., Grebneva O. A., Alekseev A. V. Environmental risk prevention during the reconstruction of the sewerage system in the Lake Baikal central ecological zone 62

Guevara Rada L. T., Peshkov V. V., Mart'yanov V. I., Radionova E. A., Buzheeva F. G., Saibatalova E. V. Building Information Modelling (BIM) technology as a basis for lean construction 70

Moroz M. V., Vityazeva M. M. Assessment of the possibility of calculating the thermal performance of building heating systems using the *Autodesk Revit* software package 82

Peshkov A. V., Matveeva M. V., Bezrukikh O. A., Rogov D. S. Ensuring quality control processes at all stages of the life cycle of capital construction projects under the *Construction 4.0* concept 90

Pinus B. I., Korneeva I. G. Fatigue strength control of flexural reinforced concrete members 98

Chupin V. R., Mart'yanov V. I., Matveeva M. V. Optimization of systems of water supply and sewerage by minimizing their life cycle costs 104

Shelekhov I. Yu., Ruposov V. L., Shelekhova A. I., Vorontsova Yu. S. Analysis of the needs in electrothermal equipment among agricultural producers in the Republic of Buryatia 114

ARCHITECTURE. DESIGN

Hao Jing, Kozlov V. V. Development of modern urban parks on the example of Baotou city 124

Научная статья
УДК 330
https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-10-19

Стратегические ракурсы развития строительства: направления, трансформации, человеческий капитал

© Михаил Юрьевич Викторов, Наталья Юрьевна Яськова
Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, г. Москва, Россия
Автор, ответственный за переписку: Викторов Михаил Юрьевич, viktorov-my@ranepa.ru

***Аннотация*.** В настоящее время определяется масштаб мышления в отношении ресурсных маневров, новаторства, создания развивающего факторного пространства, умелого государственного управления. Последнее все очевиднее тяготеет к плановому формату, задающему стратегические цели регионам, отраслям и сферам национальной экономики. Главным фактором достижения успеха становится их сопряженность по объемам, ресурсному наполнению и времени. Цель исследования – выявление и уточнение направлений трансформации строительной отрасли в современных условиях адаптации человеческого капитала. Целевой контур развития страны в настоящее время очерчивается решением таких задач, как: сбережение народа, структурирование и развитие человеческого потенциала, укрепление суверенитета и обеспечение безопасности развития государства. Связь между имеющимися ресурсными ограничениями и нарастающим внешним давлением требует использования прорывных креативных решений, уникальных экономических гибридных и многоступенчатых методов и механизмов, а также ускорения запуска инвестиционного цикла нового технологического уклада, что невозможно без механизмов согласования экономических интересов всех экономических агентов, участвующих в перезапуске инвестиционного цикла. Анализ различных точек зрения показал, что стратегические ракурсы развития должны активировать не только государственный, но и частный капитал, формировать креативную, экономически устойчивую и комфортную для вложений деловую среду. Создание креативной экономически устойчивой среды ведения инвестиционно-строительной деятельности потребует, помимо уточнения состава мер, способных полноценно обеспечить реализацию целей национальных проектов, внедрения методов разрешения хозяйственных споров, способных предотвращать эскалацию конфликтов участников строительства.

Ключевые слова: трансформационные процессы**,** стратегия развития, строительство, пространственная реструктуризация, жилищные условия, инфраструктурное строительство, институт экспертизы, цифровизация, комфортная бизнес-среда, ресурсное обеспечение, методы разрешения хозяйственных споров

Для цитирования: Викторов М. Ю., Яськова Н. Ю. Стратегические ракурсы развития строительства: направления, трансформации, человеческий капитал // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 1. С. 10–19. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-10-19.

Original article

Strategic aspects in construction development: directions, transformations, human capital

Mikhail Yu. Viktorov, Natalia Yu. Yaskova
The Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Moscow, Russia
Corresponding author: Mikhail Yu. Viktorov, noc@email.su

Abstract. In recent years, much attention has been paid to the problems of resource manoeuvring, innovating activity, factor space development and efficient public administration. The latter is increasingly gravitating towards a planned format, setting strategic goals for regions, sectors and spheres of Russian economy. The main factor in achieving success becomes their coherence in

terms of volume, time and resources. The present study outlines directions for transforming the construction industry in Russia under the modern conditions of human capital adaptation. Among the most pressing tasks are those aimed at saving people, structuring and developing human potential, strengthening sovereignty and ensuring the security of state development. The connection between resource limitations and increasing external pressure requires the use of breakthrough creative solutions and novel economic hybrid and multi-stage methods. The acceleration of launching the investment cycle of the new technological mode is impossible without coordinating economic interests of all economic parties involved in restarting the investment cycle. The conducted analysis of different viewpoints showed that strategic development should rely on not only public capital, but also private capital, thus forming a creative, economically sustainable and investor-friendly business environment. The formation of such an environment for investment and construction activities will require, in addition to specifying a range of measures capable of fully realizing the objectives of national projects, the introduction of efficient methods for resolving economic disputes, which are capable of preventing the escalation of conflicts among construction participants.

Keywords: transformational processes, development strategy, construction, spatial restructuring, housing conditions, infrastructure construction, institute of expertise, digitalization, comfortable business environment, resource provision, methods of resolving economic disputes

For citation: Viktorov M. Yu., Yaskova N. Yu. Strategic aspects in construction development: directions, transformations, human capital. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(1):10-19. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-10-19.

Введение

Стратегическая фокусировка строительной отрасли касается абсолютно всех реализационных блоков Общенационального плана действий (одобрен Правительством РФ 23 сентября 2020 года[1]), обеспечивающих восстановление занятости и доходов населения, рост экономики и долгосрочные структурные изменения в ней. Помимо готовности сферы строительства к выполнению крупномасштабных проектов, обеспечивающих научно-технологическое развитие современной России, ее пространственную реструктуризацию, реализацию стратегии энергоперехода и создание адекватной трансформационным целям транспортной, деловой, производственной инфраструктуры, перед строительной отраслью стоят беспрецедентно масштабные задачи создания комфортной среды жизнедеятельности. Государственная программа РФ «Обеспечение доступным и комфортным жильем и коммунальными услугами граждан РФ»[2] также ставит перед ней сложнейшие задачи жилищного строительства. Оно, будучи территориально рассредоточенным, осуществляемым в различных климатических и социально-экономических условиях, должно способствовать преодолению набирающих силы процессов депопуляции отдельных территорий и городов страны. Помимо целей реструктуризации производственной и потребительской сфер национальной экономики, строительство как базовая отрасль также подлежит трансформации в направлении внедрения высокотехнологичных инноваций, не только поддерживающих конкурентоспособность, но и снижающих негативное воздействие на окружающую среду. Анализ подходов к стратегической фокусировке строительной отрасли показал, что целевая направленность определена национальными целями повышения комфорта, качества и уровня жизни граждан[3]. В этой связи материальной базой решения указанных це-

[1]Общенациональный план действий, обеспечивающих восстановление занятости и доходов населения, рост экономики и долгосрочные структурные изменения в экономике (одобрен на заседании Правительства РФ 23 сентября 2020 г. (протокол № 36, раздел VII) № П13-60855 от 2 октября 2020 г.) [Электронный ресурс]. URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74678576/ (17.01.2022).

[2]Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Обеспечение доступным и комфортным жильем и коммунальными услугами граждан Российской Федерации» (с изм. и доп.): Постановление Правительства РФ от 30 декабря 2017 г. N 1710 [Электронный ресурс]. URL: https://base.garant.ru/71849506/ (17.01.2022).

[3]Проект Стратегии развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года [Электронный ресурс]. URL: https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/18723/ (17.01.2022).

лей становится пространственное развитие. Но вопреки логике диалектического материализма, многие годы сопровождавшей стратегические решения плановой экономики, Стратегия развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации до 2030 года во главу угла ставит сферу потребления в части обеспечения ввода в действие жилья. При этом сбалансированный и комплексный подход к планированию застройки сводится к количественным показателям ввода миллионов кв. метров, улучшению общественных пространств, повышению удобства и комфорта жителей. Более того, применительно к созданию точек притяжения граждан в тот или иной регион в документе принят подход «обеспечения доступным жильем, необходимой транспортной, социальной и коммунальной инфраструктурой»[4]. Рабочие места, производственный ландшафт, индустриальная структура национальной экономики в основных стратегических приоритетах Общих положений даже не упоминаются. А программы государственной поддержки также направлены на решение жилищных потребностей, которые «будут способствовать укреплению семьи и повышению уровня рождаемости».

Количественная интерпретация стратегических целей в точности отражает приведенные выше приоритеты.

Во-первых, к 2030 г. должны быть улучшены жилищные условия не менее 5 млн семей в ежегодном измерении.

Во-вторых, предполагается существенно снизить избыточные требования, количество процедур и административных барьеров на стартовых фазах реализации проектов строительства.

В-третьих, сроки и издержки инвестиционно-строительного цикла объектов капитального строительства (ОКС) также должны быть снижены.

Объединяя базовый комплекс мероприятий Стратегии, можно утверждать, что речь идет в первую очередь о «новых жилищных возможностях». Что касается «нового ритма строительства» с оптимальным пусковым комплексом требований и процедур, разработчики Стратегии связывают его с увеличением вклада отрасли в валовый внутренний продукт (ВВП). Мультипликативные эффекты в форме создания новых рабочих мест, роста доходов населения, изменения градуса деловой активности в строительстве, структуры занятости и уровня безработицы, налоговых отчислений и роста частных инвестиций в постановочной части документа фактически отсутствуют, а конечным результатом разработанной Стратегии является рост доли населения (превысит 75 %), удовлетворенного предоставленными жилищными услугами.

Качество городской среды предусмотрено улучшить в 1,5 раза к 2030 г. При этом понятие качества городской среды охватывает в стратегическом контексте обеспечение:

1) комфорта и безопасности жизни граждан;

2) коммунальными и электронными услугами и сервисами;

3) доступными объектами городской среды;

4) востребованными общественными пространствами и рекреационными зонами.

Экономическая привлекательность территорий и городов связывается именно с качеством городской среды. Между тем, ряд научных исследований, посвященных выявлению приоритетов развития строительства[5] ([1, 2] и др.), показывает, что в современных условиях качество деловой среды является предтечей предпринимательской активности во всех сферах жизнедеятельности городов, территорий и стран. В силу этого качество и конкурентоспособность деловой среды должны стать не менее важным стратегическим приоритетом. Это предопределяет необходимость исследования проблемы обеспечения качества среды жизнедеятельности как единства качества жилищной сферы и качества деловой среды. Основные атрибуты последней касаются:

1) сбалансированного состава рабочих мест, соответствующих требованиям трансформации экономики (города, региона, страны);

2) прозрачных и инклюзивных правил хозяйствования, методов стимулирования и поддержки субъектов хозяйствования;

3) превентивных механизмов разрешения противоречий развития и недопущения конфликтов экономических интересов;

---

[4]Проект Стратегии развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года [Электронный ресурс]. URL: https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/18723/ (17.01.2022).

[5]Кострикин П. Н. Методология обеспечения синхронизации комплексного развития недвижимости с механизмами государственной поддержки строительного комплекса: дис. … д-ра экон. наук: 08.00.05. М., 2021. 333 с.

4) работоспособности деловых, карьерных и образовательных лифтов;

5) доступности электронных услуг и сервисов, а также объектов бизнес-среды и др.

Далее исследуем основные методы формирования стратегических ракурсов развития строительства.

Методы

Рекордные достижения строительного комплекса, особенно в жилищном строительстве, в условиях коронакризиса и далеко не благоприятной внешней конъюнктуры, очевидно, стали следствием *своевременно принятых прорывных креативных решений*. Их масштабирование осуществлялось в рамках разработки проекта Стратегии развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года. В качестве основного разработчиками был выбран подход *системной трансформации строительной отрасли*. Его механизмы охватили преобразования в административном и цифровом формате, объединяя строительство и ЖКХ в разрезе всех «болевых точек развития» (в диапазоне от контрактации и технического регулирования до развития института экспертизы). Заметим, что в практике государственного управления последнего 30-летия это было сделано впервые. Более того, в процессе разработки Стратегии ее положения неоднократно обсуждались с целью реализации комплексного подхода в отношении обозначенных приоритетных направлений. Механизмы ускорения инвестиционно-строительного цикла, представленные в разделе «Новый ритм строительства»[6], интегрировали методы административной и цифровой трансформации, ценообразования и контрактации, технического регулирования, энергоэффективности и экологичности, научного поиска и саморегулирования, экспертизы и цифровизации и др.

Важнейшим стратегическим ракурсом стал подход к сокращению сроков инвестиционно-строительного цикла в рамках цифровой трансформации системы управления строительной отрасли (раздел 6.10.3). В то же время представляется, что акцент исключительно на оптимизацию процедур градостроительной экспертизы, а также историко-культурной экспертизы и государственной экологической экспертизы – необходимая, но недостаточная мера. Безусловно, должны быть исключены дублирование и несвоевременность проведения экспертизы и внесены изменения в акты Правительства РФ. Но на практике, помимо проблем экспертирования, заданная скорость реализации инвестиционно-строительных проектов является следствием договороспособности участников инвестиционно-строительной деятельности. Готовность пойти на компромисс, поддержанная эффективными механизмами внесудебного разрешения споров в строительстве в условиях нарастающей неопределенности и рисков неэффективного хозяйствования, становится решающим фактором для снятия барьеров на пути своевременной реализации проектов, позволяя не только сформировать модель бесконфликтного строительства, но и приблизиться к прототипу комфортной деловой среды.

Результаты и их обсуждение

Определение направлений и методов стратегической фокусировки в первую очередь, по мнению академика А. Г. Аганбегяна, зависит от сложившегося технологического уклада, имеющейся структуры экономики и поставленных целей. Среди последних решающее значение имеют цели инвестирования в основной капитал, особенно в сфере производства. Инвестиционный цикл в России должен быть перезапущен сообразно требованиям нового качества экономического роста. Имея в виду, что Россия – индустриальная страна, доля промышленности в ВВП составляет порядка 30 % ВВП, что на 15–20 % выше доли, присущей развитым странам, но примерно вдвое ниже доли, характерной для развивающихся стран (Китая, Бразилии, Мексики, где доля инвестиций в основной капитал достигает 60 %). Такой стратегический разброс связан с тем, что главным драйвером роста развивающихся стран является промышленность, в то время как в развитых странах это *экономика знаний* (НИОКР, образование, здравоохранение и др.). Доля экономики знаний в ВВП Европы превышает 30 %, в США – 40 %, то есть не менее чем в 2 раза выше, чем в России (в настоящее время – 14 %) [3].

Стратегический фокус на развитие высокотехнологичных производств объективно продуцирует более низкие темпы роста экономики. Для развивающихся стран даже

[6]Проект Стратегии развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года [Электронный ресурс]. URL: https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/18723/ (17.01.2022).

наполнение внутреннего рынка, реализация планов роста производительности труда и ускорения инвестиционного цикла способны обеспечивать более высокие темпы роста. При этом важнейшим ограничителем развития является снижение доли инвестиций в обновление активной части основных фондов до уровня их простого воспроизводства. Этот уровень в РФ оценивается экспертами равным примерно 17–20 % в структуре ВВП. Для обеспечения устойчивого роста (порядка 4 % годовых) экономик развивающихся стран, в том числе России, объем вложений в активную часть основных фондов не может быть меньше 30 %. По данным Росстата, 37 % инвестиций в основной капитал направляются на закупку машин, оборудования и транспортных средств. Традиционно 50 % инвестиций поглощает сфера недвижимости (здания, сооружения), в том числе 13 % – жилая недвижимость. Только чуть более 3 % инвестируется в объекты интеллектуальной собственности[7].

Анализ сложившейся структуры инвестиций свидетельствует о безусловной поддержке доминирующего индустриального сегмента с весомой (более 50 %) долей сырьевого сектора. Сфера экономики знаний в российском ВВП измеряется 14 % инвестиций, что в 1,5 раза ниже, чем в Китае, вдвое ниже, чем в Европе, и втрое ниже, чем в США. Очевидно, что структурная политика инвестирования в базовые сферы национальной экономики не учитывает, что обновленные фонды (их активная и пассивная части) должны эффективно эксплуатироваться. Это значит, что будут востребованы новые компетенции и новое качество человеческого капитала. О каком качестве можно говорить применительно к строительной отрасли, Стратегия ее развития не дает ответа. Формирование трендов на обеспечение высококачественного человеческого капитала пока носит декларативный характер.

В частности, в Стратегии развития строительства трансформации кадрового обеспечения посвящены разделы 6.7 и 8.5. Их анализ показал, что для достижения стратегических целей ввода ОКС к более чем 6 млн чел. (в 2020 г.) потребуется дополнительно 2,5 млн чел. к 2030 г. При этом не вызывает сомнения, что будет востребована *обновленная профессиональная и квалификационная структура.* В этом контексте с целевым фокусом Стратегии трудно спорить. В ней декларируется «эффективное развитие кадрового потенциала на основе формирования навыков и компетенций, отвечающих современным и перспективным потребностям развития отрасли». Задачи Стратегии в общих чертах декомпозируют цель с акцентами:

1) на профессиональную подготовку с учетом требований профессиональных стандартов и квалификационных требований;

2) развитие системы подготовки повышения квалификации государственных служащих;

3) использование цифровых платформ и др.

Мероприятия Стратегии предполагают осуществлять для решения поставленных задач контроль качества образовательных услуг, формирование системы мотивации, цифровизацию образовательных программ, даже интернационализацию (со снятием барьеров привлечения иностранной рабочей силы) и распространение передового опыта и др. Между тем, при обозначении необходимости прогноза потребностей строительной отрасли новые компетенции, навыки, специальности остались за пределами стратегических установок. Разработчики ограничились: акцентом на обучение государственных заказчиков, научно-педагогических работников и мастеров производственного обучения, а также фокусировкой на теме городского развития для архитекторов, проектировщиков и градостроителей.

Практика показывает, что любые трансформации, а тем более при таком темпе масштабирования, рождают множество противоречий у всех участников инвестиционно-строительной деятельности. Они связаны:

– с отсутствием профильных специалистов (например, при переходе к использованию технологий информационного моделирования на всех этапах инвестиционного цикла);

– недостатком экспертов в области технической и стоимостной экспертизы (изменения затронут все системы ОКС),

– ошибками хозяйственной деятельности, неизбежно возникающими в период трансформации.

Конфликтность экономических интересов субъектов, вовлеченных в инвестиционно-строительные процессы, неизмеримо возрастает в переходные периоды, касающиеся

[7]Российский статистический ежегодник [Электронный ресурс]. URL: https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/12994 (17.01.2022).

внедрения новых организационно-экономических механизмов осуществления строительства, изменения градостроительных норм и правил, цифровизации процессов, перехода к смарт-контрактам и инновационным технологиям строительства и эксплуатации. Совершенно очевидно, что перегруженная к настоящему времени судебная система [4–6] не справляется с потоком исков, направленных на разрешение строительных споров. Также не вызывает сомнения, что потенциал альтернативных методов разрешения споров (АРС) не задействован и, как следует из стратегических установок, в разделе профессиональной трансформации строительной отрасли подготовка специалистов с расширенными компетенциями по урегулированию строительных споров не предусмотрена и в перспективе. Это вызывает необходимость анализа основных направлений стратегического развития отрасли с точки зрения оценки потенциала роста противоречий развития с целью недопущения превращения противоречий как движущей силы развития в конфликты, разрешаемые в судебном порядке.

Основные стратегические направления открывает раздел 2 рассматриваемой Стратегии – «Сбалансированное пространственное развитие». Это обусловлено тем, что допущенные в период реформирования диспропорции пространственного развития страны, депопуляция ряда районов, сжатие количества территорий экономической активности формируют беспрецедентно емкий запрос к строительной отрасли:

– на восстановление частично утерянных производственных связей;

– строительство новых мест приложения труда (производственных и коммерческих объектов);

– создание комфортных условий жизнедеятельности в развивающихся районах, территориях, городах.

Региональная экспансия строительной отрасли потребует не только организации ресурсного маневра (трудовые ресурсы, техника, технологии), но и формирования градостроительных основ устойчивого и сбалансированного пространственного развития РФ. Заметим, что новое наполнение понятия комплексного развития территорий (КРТ) невозможно без формирования профессионального кластера: системных аналитиков, антропологов, инвестиционных и технических экспертов, медиаторов и др. И в этих условиях совершенно очевидно, что специалисты с новыми компетенциями увязки производственных и транзитных цепочек в условиях формирования территорий комплексного развития не появятся мгновенно. Более того, их компетенции должны формироваться «с колес», то есть в процессе реализации целей КРТ. При отсутствии стратегического запроса процессы организации диалоговых режимов, согласования экономических интересов, превентивного урегулирования противоречий, мониторинга взаимосогласованных действий, оперативной корректировки контрактных условий и многое другое будут нарабатываться бессистемно, не трансформируясь в компетенции профессиональной сферы деятельности. Распыляясь по участникам, вне создания комплексной профессиональной среды и высококвалифицированного сегмента занятости для консультантов и экспертов по разрешению споров в строительстве, процессы освоения новых территорий потребуют исключительно «ручного управления» преодоления барьеров рассогласованности экономических интересов. Следовательно, системные эффекты будут потеряны.

Исследуемая проблема также обострится в условиях работ по синхронизации развития территорий, городов, агломераций, субъектов РФ. На каждом уровне управления будут использованы собственные подходы, методическая база, регламенты и др. В каком порядке будет проходить согласование, как будет обеспечена интеграция стратегий и программ, мероприятий национальных проектов, межведомственное взаимодействие, учет общественного мнения – вопросы, которые требуют системного решения в объективно востребованном профессиональном сегменте – экспертов с расширенными компетенциями по урегулированию споров в строительстве.

Появление новых документов градостроительного планирования – мастер-планов комплексного развития территорий 85 субъектов РФ – это не только инновационный, но и пока далеко не бесспорный инструмент, лежащий в основе государственной поддержки капитальных вложений, инфраструктурного меню, учета особенностей, в том числе климатических и социальных. Нормотворческая деятельность, в том числе обновление нормативов градостроительной деятельности, донастройка механизмов вовлечения земель, упрощение процедур и использование договоров застройки и комплексного развития территорий, потребует также экспертизы паритета экономических интересов. Ко-

нечными бенефициарами указанных процессов должны стать граждане РФ, при этом важно не допустить доминирования интересов кого-либо из участников трансформационных процессов.

Как верно было отмечено на Гайдаровском форуме 2022 г., недопущение неоправданного уравнивания при паритете интересов – это формула сбалансированного устойчивого роста[8].

Постановка задач пространственного развития неотделима от формирования высокотехнологичной, конкурентоспособной промышленности, тяготеющей к инновационному типу развития и все интенсивнее замещающей экспортно-сырьевые добывающие и производственные мощности. Очевидно, что пространственные диспропорции рождают вызовы и сдерживают реализацию основ промышленной политики. В то же время анализ показал, что ни в рамках пространственной реструктуризации, ни в основах промышленной политики не предусмотрено повышение инновационности строительной продукции. При этом в настоящее время, по данным официальной статистики Росстата, строительная отрасль является одной из самых отстающих по уровню производительности труда, инвестиций в основной капитал (инвестиций строительных компаний в свое развитие как доли от добавленной стоимости этих компаний), а также доле инновационной продукции. Представляется, что именно повышение инновационности должно ставиться целью в рамках всех направлений трансформации отрасли. Также будет полезным детерминировать цели по внедрению цифровых инноваций непосредственно в строительные технологии, в том числе в управление проектом (работы на площадке и вне площадки), технологии проектирования, управления ресурсами, роботизацию. К таким цифровым технологиям, которые в настоящее время внедряются в отрасли строительства по всему миру, относятся:

– 3Д-печать;
– префабрицированные здания;
– искусственный интеллект;
– машинное обучение;
– дроны;
– 5G.

Скорость реализации строительных проектов в существенной степени зависит от технологического сдвига, который позволил бы кардинально повысить производительность труда, снизить долю низкоквалифицированного труда, заместив высококвалифицированным, направленным на создание инноваций.

Особое внимание при обсуждении Стратегии, в т.ч. на площадке Гайдаровского форума[9], было уделено развитию жилищно-коммунального хозяйства [7–10]. Это неудивительно хотя бы потому, что 21 % российского жилья не имеет подведенной холодной воды, 23 % – туалета, 38 % – ни душа, ни ванны, 40 % не подключено к горячему водоснабжению. Если для определения качества обеспеченности жильем использовать критерий наличия хотя бы душа и горячей воды, то доля такого жилья в общем жилом фонде составляет всего 17 квадратных метров на душу населения. Это в два раза ниже среднего показателя по Евросоюзу и в 2,5 раза меньше, чем в Германии и Великобритании. В этих странах в отношении понятия обеспеченности жильем используются совершенно иные критерии – наличие кабельного телевидения, интернета, кондиционеров. В США, например, последние обязательны для любого жилья.

Подчеркнем, что вложения в ЖКХ, модернизацию жилого фонда, формирование комфортной среды должны не только носить инновационный характер, приобретая цифровой формат, но и осуществляться в бесконфликтном режиме с жителями. От оперативности предотвращения конфликтов напрямую зависит ритм отраслевых трансформаций.

Заключение

Проведенный анализ основных стратегических ракурсов развития строительства обозначил комплекс проблем, требующих незамедлительных решений. В числе последних были предложены в основном административные меры, упорядочивающие организацию инвестиционно-строительных процессов, а также механизмы цифровой трансформации. Их фокус направлен на сферу жилищного строительства, оптимизацию административных процедур и/или цифровизацию, которые являются важнейшими направлениями ускорения инвестиционно-строительного цикла. В то же время его качество в сущности не меняется, а продекларированные в Стратегии развития строительной отрасли «Единый институт пространственного планирования», «территориальные инструменты разви-

[8]Гайдаровский форум-2022: Приоритеты [Электронный ресурс]. URL: https://gaidarforum.ru/ru/ (17.01.2022).
[9]Там же.

тия промышленности», «механизмы восстановления домов», «внедрение сертификата на получение социального наемного жилья» возможно и необходимы (при условии пояснения их экономической сути), но явно недостаточны для создания комфортной деловой среды как основы бесконфликтного, устойчиво развивающегося строительства. При этом нужно понимать, что *устойчивое развитие по своей экономической сущности инновационно, а по механизму реализации бесконфликтно.* Именно эти стратегические ракурсы требуют дальнейшего развития и обсуждения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Пространственная реструктуризация. Новые смыслы и правила инвестиционно-строительной деятельности / под общ. ред. Н. Ю. Яськовой. М.: ИД «Дело», 2019. 454 с.
2. Yaskova N. Yu., Sarchenko V. I., Khirevich S. A. Main principles of comprehensive approach to formation of confortable urban environment // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (International Science and Technology Conference (FarEastCon 2020), 6-9th October 2020, Russky Island, Russia). 2021. Vol. 1079. p. 032031.
3. Лесных А. Переломный момент, который мы упускаем [Электронный ресурс]. URL: https://expert.ru/expert/2021/51/perelomniy-moment-kotoriy-my-upuskayem/ (17.01.2022).
4. Зайцева Л. И. Концепция «суда с тремя дверьми» при разрешении экономических споров в Российской Федерации // Судья. 2020. № 12. С. 31–37.
5. Зайцева Л. И., Рукавишников С. Ю. Применение внесудебных способов разрешения инвестиционно-строительных споров в контексте изменений процессуального законодательства // Вестник арбитражного суда Московской области. 2020. № 4. С. 54–59.
6. Yaskova N. Yu., Zaitseva L. I. Alternatives of judicial economic disputes settlement in investment and construction sphere // IOP Conference Series Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 880(1). p. 012116. https://doi.org/10.1088/1757-899X/880/1/012116.
7. Анпилов С. М., Сорочайкин А. Н. О Стратегии развития строительной отрасли РФ (часть I) // Эксперт: теория и практика. 2019. № 1. С. 7–15. https://doi.org/10.24411/2686-7818-2019-00011.
8. Ерофеев В. Т., Пиксайкина А. А., Булгаков А. Г., Ермолаев В. В. Цифровизация в строительстве как эффективный инструмент современного развития отрасли // Эксперт: теория и практика. 2021. № 3 (12). С. 9–14. https://doi.org/10.51608/26867818_2021_3_9.
9. Bulgakov A., Emelianov S., Bock T., Sayfeddine D., Erofeev V. Inspection offlyover bridges using quadrotor // Connected to the Future: proceedings of the 32nd International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining (Oulu, Finland, 15-18 June 2015). Oulu, 2015. p. 2. https://doi.org/10.22260/ISARC2015/0060.
10. Yu W. D., Chang H. K., Hsie Y. C., Bulgakov A. An Image Recognition-based Distance Measurement Technique for Real-time Locating of Construction Workers // IEEE 3rd Eurasia Conference on Biomedical Engineering, Healthcare and Sustainability (ECBIOS). 2020. p. 148-151. https://doi.org/10.1109/ECBIOS51820.2021.9510990.

REFERENCES

1. Yas'kova NYu (eds.). Spatial restructuring. New meanings and rules of investment and construction activities. Moscow: ID “Delo”, 2019. 454 p. (In Russ.).
2. Yaskova NYu, Sarchenko VI, Khirevich SA. Main principles of comprehensive approach to formation of comfortable urban environment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (International Science and Technology Conference (FarEastCon 2020), 6-9th October 2020, Russky Island, Russia). 2021;1079:032031.
3. Lesnykh A. The turning point that we are missing. Available from: https://expert.ru/expert/2021/51/perelomniy-moment-kotoriy-my-upuskayem/ [17th January 2022].
4. Zaitseva LI. Concept of “three-door court” in resolving economic disputes in the Russian Federation. *Sud'ya*. 2020;12:31-37. (In Russ.).
5. Zaitseva LI, Rukavishnikov SYu. Application of extrajudicial methods of resolving investment and construction disputes in the context of changes in procedural legislation. *Vestnik arbitrazhnogo suda Moskovskoi oblasti*. 2020;4:54-59. (In Russ.).
6. Yaskova NYu, Zaitseva LI. Alternatives of judicial economic disputes settlement in investment and construction sphere. *IOP Conference*

Series Materials Science and Engineering. 2020;880(1):012116. https://doi.org/10.1088/1757-899X/880/1/012116.
7. Anpilov SM, Sorochaikin AN. Development strategies of the construction industry of the Russian Federation (part 1). *Ekspert: teoriya i praktika*. 2019;1:7-15. (In Russ.). https://doi.org/10.24411/2686-7818-2019-00011.
8. Erofeev VT, Piksaikina AA, Bulgakov AG, Ermolaev VV. Digitalization in construction as an effective tool for modern development of the industry. *Ekspert: teoriya i praktika*. 2021;3(12):9-14. (In Russ.). https://doi.org/10.51608/26867818_2021_3_9.
9. Bulgakov A, Emelianov S, Bock T, Sayfeddine D, Erofeev V. Inspection offlyover bridges using quadrotor. *Connected to the Future: proceedings of the 32nd International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining* (Oulu, Finland, 15-18 June 2015). Oulu, 2015. p. 2. https://doi.org/10.22260/ISARC2015/0060.
10. Yu WD, Chang HK, Hsie YC, Bulgakov A. An Image Recognition-based Distance Measurement Technique for Real-time Locating of Construction Workers. *IEEE 3rd Eurasia Conference on Biomedical Engineering, Healthcare and Sustainability (ECBIOS)*. 2020. p. 148-151. https://doi.org/10.1109/ECBIOS51820.2021.9510990.

Информация об авторах

М. Ю. Викторов,
доктор экономических наук, доцент кафедры инвестиционно-строительного бизнеса и управления недвижимостью,
Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации,
119571, г. Москва, пр-т Вернадского, 82, Россия,
e-mail: viktorov-my@ranepa.ru
https://orcid.org/0000-0003-1672-9448

Н. Ю. Яськова,
доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой инвестиционно-строительного бизнеса и управления недвижимостью,
Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации,
119571, г. Москва, пр-т Вернадского, 82, Россия,
e-mail: yaskova-ny@ranepa.ru
https://orcid.org/0000-0001-7290-4648

Information about the authors

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

Natalia Yu. Yaskova,
Dr. Sci. (Econ.), Professor,
Head of the Department of Investment and Construction Business and Real Estate Management,
The Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration,
82 Vernadskogo Av., Moscow, 119571, Russia,
e-mail: yaskova-ny@ranepa.ru
https://orcid.org/0000-0001-7290-4648

Вклад авторов

Викторов М. Ю., Яськова Н. Ю. имеют равные авторские права. Викторов М. Ю. несет ответственность за плагиат.

Contribution of the authors

Viktorov M. Yu., Yaskova N. Yu. have equal author's rights. Viktorov M. Yu. 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.

Статья поступила в редакцию 19.01.2022.
Одобрена после рецензирования 14.02.2022.
Принята к публикации 16.02.2022.

The article was submitted 19.01.2022.
Approved after reviewing 14.02.2022.
Accepted for publication 16.02.2022.

Научная статья
УДК 65:658.5
https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-20-27

Методика оптимизации затрат строительных компаний при реализации общей технологии возведения объекта

© Виктор Захарович Величкин, Марина Вячеславовна Петроченко, Ирина Станиславовна Птухина, Анна Юрьевна Городишенина
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия
Автор, ответственный за переписку: Городишенина Анна Юрьевна, gorodish_ayu@spbstu.ru

Аннотация. В статье рассматривается методический подход к оптимизации затрат строительных компаний на организацию общей технологии возведения гражданских объектов при проектировании и реализации проекта организации строительства (ПОС). Общая технология строительства сооружений определяется последовательностью выполнения комплексов работ, оснащенных определенной строительной техникой и квалифицированными специалистами-исполнителями. Затраты на обеспечение условий их работы на строительной площадке, а также на работу технических и трудовых ресурсов формируют общие затраты строительных компаний, которые должны компенсироваться средствами, предусмотренными в сметной документации. Предлагается экономико-математическая модель для оптимизации объема этих затрат при разработке и реализации разделов ПОС. На основе данной модели для конкретного примера строительства жилого здания произведен расчет объема затрат при различных вариантах насыщения объекта техническими и трудовыми ресурсами. Сформулированы выводы относительно динамики изменения затрат на возведение данного сооружения, а также влияния сроков строительства объектов на объем затрат строительных компаний на основе исследований с применением предлагаемой экономико-математической модели.

Ключевые слова: проект организации строительства, срок строительства объекта, затраты строительных компаний, технические и трудовые ресурсы, расходы по организации строительной площадки, экономико-математическая модель затрат

Для цитирования: Величкин В. З., Петроченко М. В., Птухина И. С., Городишенина А. Ю. Методика оптимизации затрат строительных компаний при реализации общей технологии возведения объекта // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 1. С. 20–27. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-20-27.

Original article

Methodology for optimising costs of the construction company for the management of the general object construction technology

Victor Z. Velichkin, Marina V. Petrochenko, Irina S. Ptukhina, Anna Yu. Gorodishenina
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia
Corresponding author: Anna Yu. Gorodishenina, gorodish_ayu@spbstu.ru

Abstract. The article describes a methodology for optimising the costs associated with managing the process of civil engineering construction during the design and implementation of the construction management plan (CMP). The general construction technology is determined by a sequence of particular activities using construction equipment and qualified executive specialists. The costs of the work performed by technical and labour resources, together with the costs for enabling these works at the construction site, compose the total costs of construction companies. These costs are covered by the cost estimation documentation of a constructed facility. This article proposes an economic and mathematical model for optimising the volume of these costs during the development and implementation of CMP sections. The developed model is used for assessing the costs associated with constructing a res-

idential building, considering various patterns of the used technical and labour resources. Conclusions on the dynamics of changes in the costs for this building are formulated, along with the effect of construction period on the volume of construction costs.

Keywords: construction organization project, object construction period, construction companies' costs, technical and labor resources, construction site organization costs, economic and mathematical cost model

For citation: Velichkin V. Z., Petrochenko M. V., Ptukhina I. S., Gorodishenina A. Yu. Methodology for optimising costs of the construction company for the management of the general object construction technology. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(1):20-27. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-20-27.

Введение

При формировании технологии строительства и организации работ по возведению крупных и особенно достаточно сложных объектов и сооружений необходимо проведение серьезных технических и технологических расчетов в вариантном построении с целью достижения целесообразной организации затрат строительных компаний[1]. В составе этих затрат предусматриваются расходы на эксплуатацию строительной техники, оплату труда рабочих-строителей и на содержание всех соответствующих элементов строительной площадки. Состав проектно-сметной документации ориентирован на погашение данных затрат за счет накладных расходов и затрат в составе смет на эксплуатацию строительной техники и оплату труда рабочих[2].

Состав сметных затрат рассчитывается в соответствии с принятыми средними нормативами продолжительности строительства. Состав и структура строительной площадки, состав и тип строительной техники, численность строительных рабочих и нормативная продолжительность возведения объекта в проекте организации строительства (ПОС) зависят от района строительства, методов возведения зданий и сооружений, принятых технологий и т.д.[3].

Общая технология возведения объекта осуществляется в соответствии с календарным планом в составе ПОС, организационно-технологическими схемами, отдельные строительные процессы выполняются по рекомендациям прилагаемых технологических карт[4]. В технологических картах в большинстве случаев рассматривается количество и квалификация рабочих, состав и тип применяемых строительных машин, пространственное построение фронта работ, оснастка и приспособления, состав и тип вспомогательных материалов, состав и длительность отдельных операций[5] [1, 2].

Продолжительность строительства оказывает существенное влияние на продолжительность как работы строительных машин, так и использования трудовых ресурсов. В свою очередь, время работы технических и трудовых ресурсов влияет на размеры фактических затрат строительных компаний. Эти

---

[1]Теличенко В. И., Терентьев О. М., Лапидус А. А. Технология возведения зданий и сооружений: учеб. для строит. вузов. М.: Высшая школа, 2004. 446 с.;
Теличенко В. И., Терентьев О. М., Лапидус А. А. Технология строительных процессов: учеб. для вузов. М.: Высшая школа, 2006. 395 с.

[2]Солдатенко Т. Н. Сметное дело. Сметная документация на ремонт и реконструкцию зданий и сооружений: учеб. пособ. Санкт-Петербург: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. 98 с.;
Ардзинов В. Д., Барановская Н. И., Курочкин А. И. Сметное дело в строительстве: самоучитель. СПб: Питер, 2010. 496 с.;
Чистов Л. М. Экономика строительства: учеб. пособ. СПб: Питер, 2003. 640 с.

[3]Величкин В. З., Абдуллаев Г. И., Морозова Т. Ф., Птухина И. С. Организация строительства. Технико-экономическая оценка качества поточной организации работ [Электронный ресурс]: учеб. пособ. СПб: Политехнический университет, 2014. URL: http://elib.spbstu.ru/dl/2/5013.pdf (22.01.2022);
Болотин С. А., Вихров А. Н. Организация строительного производства: учеб. пособ. М.: ACADEMIA, 2007. 207 с.;
Канюка Н. С., Шевчук Б. М., Белостоцкий О. Б. Справочник по проектированию организации строительства. Киев: Будівельник,1969. 447 с.

[4]Чахкиев И. М. Оптимизация трудовых ресурсов при обосновании директивных сроков строительства уникальных объектов: автореф. дис. … канд. техн. наук. СПб, 2015. 21 с.

[5]Бадьин Г. М., Стебаков В. В. Справочник строителя. М.: АСВ, 2007. 340 с.;
Нестле Х. Справочник строителя. Строительная техника, конструкции и технологии / под ред. Фрея Х., Нестле Х. М.: Техносфера, 2007. 24 с.

расходы могут как превышать нормативные сметные затраты, так и составлять некоторую часть от них. В связи с этим возникает проблемная задача сформировать технологические процессы по составу и по срокам с целью предельного сокращения сроков строительства и объема фактических затрат, не превышающих сметные объемы [3, 4].

Методы

Для решения задачи минимизации затрат строительных компаний в части организации строительной площадки и назначения технических и трудовых ресурсов можно рассмотреть динамику изменения этих затрат по складывающимся срокам строительства с помощью экономико-математической модели [5, 6].

Степень влияния на объем фактических затрат строительных компаний при строительстве объекта и возведении сооружений следует увязывать с динамикой функционирования строительного рынка и методами оптимизации параметров технологических процессов [7–9]. Состав и продолжительность работы строительной техники и трудовых ресурсов, учет организации функционирования ресурсов, а также сопутствующие расходы на их обустройство и содержание на строительной площадке являются основой экономико-математической модели для поиска оптимального варианта общей технологии строительства объекта [10–12].

В этой связи модель можно представить в следующем виде:

$$З_{\text{ТЕХН.ВАР.}} = \sum_{i=1}^{n} t_{Mi} \cdot Z_{Mi} + \sum_{j=1}^{m} t_{Иj} \cdot Z_{Иj} \cdot N_{Иj} + $$

$$+ S_{\text{СГП}} \cdot (Z_{\text{ОБУСТР}} + Z_{\text{АР}} \cdot T_{\text{РАСЧ}}) + \sum_{k=1}^{K} S_{\text{ВР}k} \cdot$$

$$\cdot Z_{\text{СМР}k} + \left(\sum_{k=1}^{K} S_{\text{ВР}k} \cdot Z_{\text{ЭК}k} \right) \cdot T_{\text{РАСЧ}} \rightarrow min. \quad (1)$$

В этой целевой функции переменными являются количество строительной техники (n), продолжительность ее работы (t_M), число исполнителей ($N_И$, m) и продолжительность их работы ($t_И$), а также $T_{\text{РАСЧ}}$ – запланированный срок строительства.

Остальные показатели рассчитываются по известным методикам на основании принятого состава технических и трудовых ресурсов.

Здесь дополнительно приняты обозначения: Z_{Mi} – стоимость машино-смены для i-ой строительной техники; $Z_{Иj}$ – средняя тарифная ставка рабочих j-ой специализации; $S_{\text{СГП}}$ – площадь стройгенплана с учетом принятого количества технических и трудовых ресурсов и полученной продолжительности строительства $T_{\text{РАСЧ}}$; $Z_{\text{ОБУСТР}}$ – единовременные разовые затраты средств на обустройство стройгенплана на 1 м^2 (ограждение, планировка, обеспечение пожарной безопасности и др.); $Z_{\text{АР}}$ – текущие ежесуточные затраты на оплату арендуемых площадей и их содержание; $S_{\text{ВР}k}$ – площадь временных сооружений для функционирования технических и трудовых ресурсов k-го вида (бытовки, закрытые склады, крытые склады, открытые складские площадки и др.); $Z_{\text{СМР}k}$ – стоимость 1 м^2 возводимого временного сооружения k-го вида; $Z_{\text{ЭК}k}$ – стоимость ежесуточной эксплуатации 1 м^2 временного сооружения k-го вида.

В данной модели приняты ограничения:

1)$\sum_{i=1}^{n} t_{Mi} \cdot Z_{Mi} \leq$ сметной стоимости эксплуатации машин;

2)$\sum_{j=1}^{m} t_{Иj} \cdot Z_{Иj} \cdot N_{Иj} \leq$ сметной стоимости заработной платы рабочих;

3) $S_{\text{СГП}} \cdot (Z_{\text{ОБУСТР}} + Z_{\text{АР}} \cdot T_{\text{РАСЧ}}) + \sum_{k=1}^{K} S_{\text{ВР}k} \cdot$ $\cdot Z_{\text{СМР}k} + (\sum_{k=1}^{K} S_{\text{ВР}k} \cdot Z_{\text{ЭК}k}) \cdot T_{\text{РАСЧ}} \leq$ 15,7 % от величины накладных расходов на организацию работ на строительной площадке.

Переменные n, m, k – целочисленные от нуля, единица и далее. Все остальные значения любые, более нуля.

Решение данной экономико-математической модели в виде нахождения варианта с минимальными затратами строительной компании для конкретного объекта возможно только на основе расчета и рассмотрения многочисленных вариантов с выбором наилучшего.

С учетом трудоемкости формирования варианта технологии возведения объекта и его полного расчета даже с привлечением программирования и компьютерной технологии найти оптимальный вариант очень сложно.

Для нахождения области хороших вариантов и иногда получения достаточно эффективного варианта общей технологии возведения объекта предлагается существенно оптимизировать данную экономико-математическую модель.

Развитие экономико-математического моделирования возможно на основе опытно-эвристического подхода для формирования функциональных зависимостей [5–8]. Одной из важных функциональных зависимостей является зависимость получаемой продолжительности строительства от объема технических и трудовых ресурсов [3, 4].

Для формирования такой зависимости примем следующие выражения:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^{n} t_{Mi}}{T_{\text{РАСЧ}}}$$

$$q = \frac{N_{\text{РАСЧ}}}{N_H}, \quad (2)$$

где $N_{\text{РАСЧ}}$ – принимаемое количество рабочих на объекте; N_H – нормативное количество рабочих, определяемое через сметную заработную плату или через сметную стоимость объекта и среднюю выработку на одного рабочего; $\sum_{i=1}^{n} t_{Mi}$ – общая продолжительность работы всех машин на объекте; $T_{\text{РАСЧ}}$ – принимаемая продолжительность строительства объекта по календарному плану.

Так как продолжительность строительства определяет количество работающих технических и трудовых ресурсов, то на основе опытно-эвристических экспериментов получаем следующее выражение:

$$T_{\text{РАСЧ}} = \frac{3,04 \cdot T_{\text{Н}} \cdot B}{(1+0,6\mu)\cdot(1+0,9q)}, \quad (3)$$

где B – количество рабочих смен в сутки; T_H – продолжительность возведения объекта по нормативному календарному плану.

По данной зависимости при нормативном количестве техники и рабочих получаем нормативную продолжительность строительства. При удвоении количества техники и рабочих видим двойное сокращение сроков работ.

С учетом выражения (3) получаем на основе функции (1) следующую целевую функцию:

$$З_{\text{ТЕХН.ВАР.}} = T_{\text{РАСЧ}} \cdot \left(\mu \cdot Z_{\text{Мср}} + Z_{\text{Иср}} \cdot N_{\text{Иср}} \cdot q\right) + \\ + S_{\text{СГПср}} \cdot \sqrt{\frac{T_H}{T_{\text{РАСЧ}}}} \cdot \left[0,65 \cdot \left(Z_{\text{ВРсмр}} + Z_{\text{ВРэк}} \cdot T_{\text{РАСЧ}}\right) + \right. \\ \left. + Z_{\text{ВРар}} \cdot T_{\text{РАСЧ}}\right] \rightarrow min, \quad (4)$$

где переменными являются μ и q, а $T_{\text{РАСЧ}}$ рассчитывается как производная от этих переменных.

Так как целевая функция дробная, степенная и достаточно сложная для поиска экстремума, то предлагается рассчитать границы поля поиска, задав крайние и средние значения μ и q от минимально возможного до максимального, и сформировать на основе анализа достаточно эффективный вариант.

Предложенное решение по поиску эффективного варианта построения общей технологии возведения объекта рассмотрим на следующем примере.

Сметная стоимость возведения многоэтажного жилого здания составляет 3 942 млн руб. По календарному плану среднее количество рабочих на каждый день составляет N_H = 68 чел. Средняя стоимость машино-смены на каждый день равна $Z_{\text{Мср}}$ = 92 тыс. руб., а средняя дневная ставка рабочего $Z_{\text{Иср}}$ = 1,6 тыс. руб. Продолжительность возведения объекта по нормативному календарному плану составляет T_H = 29 мес., или 2,42 года. Принятая нормативная площадь стройгенплана $S_{\text{СГП}}$ = 128 000 м^2. Принимаем среднюю стоимость возведения одного м^2 временного сооружения стройгенплана $Z_{\text{ВРсмр}}$ = 1,3 тыс. руб., среднюю стоимость эксплуатации 1 м^2 этих сооружений в смену равной $Z_{\text{ВРэк}}$ = 0,00055 тыс. руб., а стоимость аренды и обслуживания 1 м^2 стройгенплана в смену $Z_{\text{ВРар}}$ = 0,00015 тыс. руб.

Для проведения анализа изменений затрат на реализацию технологического варианта по возведению данного объекта принимаем одинаковое значение переменных μ и q от 0,8 до 2,2 как безразмерных величин (2). Они характеризуют объем использования по общему времени строительных машин и количество привлекаемых строительных рабочих относительно нормативного варианта. Параметры нормативного варианта определяются в соответствии с нормативной продолжительностью строительства и объемом осваиваемых инвестиций по времени возведения объекта.

На первом этапе рассчитываем по выражению (3) продолжительность возведения объекта с градацией переменных через приращение, равное 0,2.

Полученные результаты могут быть спорными, но они близки к среднестатистическим данным по различным строящимся гражданским сооружениям.

Рассмотрим результаты расчетов по выражению (4) с учетом полученной продолжительности строительства объекта при принятых значениях переменных μ и q. Значение постоянных параметров приняты ранее, а значения зависимых параметров получим в процессе. На втором этапе определяем совокупные затраты по работе технических и трудовых ресурсов по первой части выражения (4).

При расчете затрат принято 312 рабочих смен в году, а при двухсменной работе получаем 624 смены в году. Результаты расчета затрат показывают наихудший вариант технологии строительства при полуторном объеме применяемых трудовых и технических ресурсов по сравнению с нормативным формированием.

Дальнейшая интенсификация технологии за счет увеличения ресурсов способствует экономии затрат до 20 млн руб. за счет сокращения времени их работы на данном крупном объекте.

На третьем этапе осуществляется расчет совокупных затрат на организацию и обу-

стройство принятой общей технологии возведения объекта. К ним относятся затраты на строительство временных сооружений (бытовых зданий, складов, дорог, площадок), на их содержание и эксплуатацию, на аренду и содержание всей строительной площадки. Расчет проводится по второй части выражения (4).

Результаты расчетов сведены в таблицу.

Варианты построения общей технологии возведения объекта
Options for building a general technology for the construction of an object

Показатели	Объем технических и трудовых ресурсов относительно нормативного, равного единице (относительный объем ресурсов)							
	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2
$T_{РАСЧ}$, год	2,89	2,42	2,06	1,77	1,54	1,35	1,19	1,06
$З_{РЕС.ВАР.}$, млн руб.	289,69	303,22	309,29	310,19	308,54	304,48	298,21	292,20
$З_{СГП.ВАР.}$, млн руб.	206,15	206,21	207,76	210,34	213,80	217,84	222,69	227,88
$З_{ТЕХН.ВАР.}$, млн руб.	495,84	509,43	517,05	520,53	522,34	522,32	520,9	520,08

Результаты и их обсуждение

В результате расчета затрат на обеспечение общей технологии возведения объекта выявлено повышение расходов строительных организаций по мере увеличения интенсивности и объемов применения технических и трудовых ресурсов при сокращении сроков строительства.

Итоги расчетов для данного примера на основе всего выражения (4) свидетельствуют о повышении затрат на общую технологию возведения объекта по мере увеличения объемов, применяемых трудовых и технических ресурсов и сокращения сроков строительства.

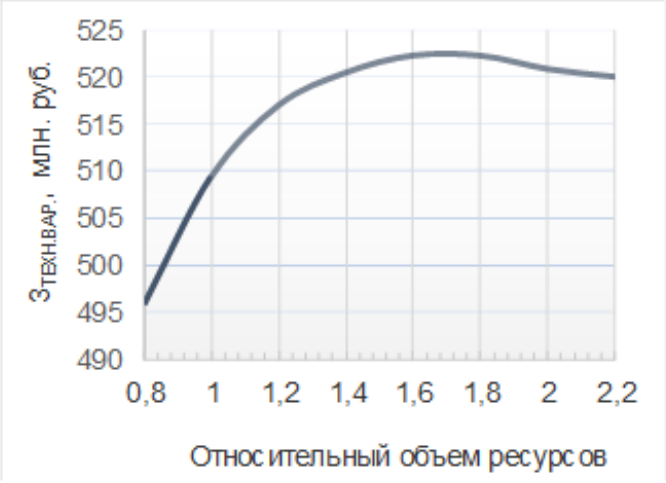
На рисунке показана кривая функция суммарных затрат строительной организации.

Исследование изменения затрат строительных компаний на обеспечение общей технологии возведения различных объектов при сокращении сроков строительства за счет увеличения количества и мощности технических и трудовых ресурсов на основе модели (4) показывает:

– целесообразность с точки зрения минимизации затрат на общую технологию строительства объекта назначения нормативной продолжительности или увеличенной на 10–15 %;

– при всяком сокращении сроков строительства необходимость увеличения затрат на общую технологию, что, как правило, не компенсируется уменьшением срока работы на объекте техники и рабочих;

– сокращение сроков строительства в полтора – два раза приводит к определенной стабилизации объема затрат на общую технологию возведения объекта и при наличии дополнительных экономических эффектов в виде приведенных дисконтированных доходов может быть целесообразным.



Кривая суммарных затрат строительной компании ($З_{ТЕХН.ВАР.}$) при увеличении количества трудовых и технических ресурсов и сокращении сроков строительства
The curve of the total costs of a construction company ($Z_{TEHN.VAR.}$) with an increase in the number of labor and technical resources and a reduction in construction time

Заключение

Выводы по итогам работы:

1. Исследование влияния насыщения стройки техническими и трудовыми ресурсами на сроки строительства и на фактические затраты строительных компаний на основе экономико-математической модели (4) показывает определенную целесообразность соблюдения нормативных сроков строительства. Так как в данной модели предусматривается учет нормативного срока строительства, то оптимальность нормативного срока вызывает сомнение.

2. Исследование влияния сроков возведения объекта на затраты по общей технологии строительства по экономико-математической модели (1) показывает наличие вариантов целесообразных сроков строительства с меньшими размерами затрат по сравнению с нормативными сроками. Однако остается несомненным рост затрат при сокращении сроков строительства за счет увеличения объема применяемых трудовых и технических ресурсов. В связи с этим возможно возникновение значительного экономического эффекта за счет повышенной интенсивности строительства и получения дополнительной прибыли. Такой подход требует дополнительных исследований.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Булатов Г. Я. К теории производительности строительных машин // Труды СПбГПУ. 2007. № 502. С. 129–138.
2. Антонюк Я. С. Оценка экономической эффективности вариантов конструктивных решений в строительстве // Вестник Брестского государственного технического университета. Строительство и архитектура. 2010. № 1. С. 142–145.
3. Антонюк Я. С. Методика оценки экономической эффективности вариантов организационных решений ПОС // Актуальные проблемы экономики строительства: материалы республиканской научно-практической конференции (Минск, 25–26 апреля 2008 г.). Минск: БГТУ, 2009. С. 23–34.
4. Голубова О. С., Костюкова С. Н. Методологические основы оценки эффективности деятельности строительной организации. Минск: БНТУ, 2019. 226 с.
5. Huang X. Optimal project selection with random fuzzy parameters // International journal of production economics. 2007. Vol. 106 (2). p. 513-522. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.06.011.
6. Байрамуков С. Х., Долаева З. Н., Карабышев Р. К., Текеев И. С. Оптимизация проекта организации строительства с учетом факторов энергопотребления // Известия СевКавГГТА. № 3 (17). 2018. С. 19–26.
7. Krichevsky M., Martynova J., Dmitrieva S. Use of Neural Networks to Assess Competitiveness of Organizations // International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2019. 2019. Vol. 1259. p. 72-82. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57453-6_8.
8. Ramsundar B., Zadeh R. TensorFlow for Deep Learning. Sebastopol: O'Reilly Media, 2018. 256 p.
9. Величкин В. З., Петроченко М. В., Стрелец К. И., Заводнова Е. Б., Городишенина А. Ю. Метод ветвей и границ при организации квартальной застройки // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16. Вып. 1. С. 91–104. https://doi.org/10.22227/1997-0935.2021.1.91-104.
10. Petrochenko M., Velichkin V., Kazakov Yu., Zavodnova Ye. Reliability assessment of the construction schedule by the critical chain method // Magazine of Civil Engineering. 2018. № 5 (81). p. 25-31. https://doi.org/10.18720/MCE.81.3.
11. Афанасьев В. А. Поточная организация строительства. Л.: Стройиздат, 1990. 302 с.
12. Сокольников В. В. Моделирование организационно-технологической надежности строительства // Вестник гражданских инженеров. 2018. № 4 (69). С. 92–97. https://doi.org/10.23968/1999-5571-2018-15-4-92-97.

REFERENCES

1. Bulatov GYa. Towards the theory of machine productivity. *Trudy SPbGTU*. 2007;502:129-138. (In Russ.).
2. Antoniuk YaS. Economic efficiency estimation of constructive decision variants in building. *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2010;1:142-145. (In Russ.).
3. Antonyuk YaS. Methodology for assessing the economic efficiency of options for organiza-

tional decisions of the PIC. *Aktual'nyye problemy ekonomiki stroitel'stva: materialy respublikanskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* (Minsk, 25–26th April 2008). Minsk: BGTU; 2009. p. 23-34. (In Russ.).
4. Golubova OS, Kostyukova SN. Methodological foundations for assessing the effectiveness of a construction organization. Minsk: BNTU; 2019. 226 p. (In Russ.).
5. Huang X. Optimal project selection with random fuzzy parameters. *International journal of production economics*. 2007;106(2):513-522. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.06.011.
6. Bayramukov SH, Dolaeva ZN, Karabashev RK, Tekeev IS. Optimization of the project of the organization of construction taking into account the factors of energy consumption. *Izvestiya SevKavGGTA*. 2018;3(17):19-26. (In Russ.).
7. Krichevsky M, Martynova J, Dmitrieva S. Use of Neural Networks to Assess Competitiveness of Organizations. *International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2019*. 2019;1259:72-82. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57453-6_8.
8. Ramsundar B., Zadeh R. TensorFlow for Deep Learning. Sebastopol: O'Reilly Media, 2018. 256 p.
9. Velichkin VZ, Petrochenko MV, Strelets KI, Zavodnova EB, Gorodishenina AYu. The branch and bound method applied to the construction of residential quarters. *Vestnik MGSU*. 2021;16(1):91-104. (In Russ.). https://doi.org/10.22227/1997-0935.2021.1.91-104.
10. Petrochenko M, Velichkin V, Kazakov Yu, Zavodnova Ye. Reliability assessment of the construction schedule by the critical chain method. *Magazine of Civil Engineering*. 2018;5(81):25-31. https://doi.org/10.18720/MCE.81.3.
11. Afanas'yev VA. Stream organization of construction. Leningrad: Stroyizdat; 1990. 302 p. (In Russ.).
12. Sokolnikov VV. Modeling of organizational and technological reliability of construction. *Vestnik Grazhdanskikh Inzhenerov = Bulletin of Civil Engineers.* 2018;4:92-97. (In Russ.). https://doi.org/10.23968/1999-5571-2018-15-4-92-97.

Информация об авторах

В. З. Величкин,
доктор технических наук, профессор,
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
195251, г. Санкт-Петербург,
ул. Политехническая, д. 29, Россия,
e-mail: v.velichkin2011@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0003-0423-4958

М. В. Петроченко,
кандидат технических наук, доцент,
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
195251, г. Санкт-Петербург,
ул. Политехническая, д. 29, Россия,
e-mail: mpetrochenko@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-4865-5319

И. С. Птухина,
кандидат технических наук, доцент,
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
195251, г. Санкт-Петербург,
ул. Политехническая, д. 29, Россия,
e-mail: ptuhina_is@spbstu.ru
https://orcid.org/0000-0003-0054-2793

Information about the authors

Victor Z. Velichkin,
Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia,
e-mail: v.velichkin2011@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0003-0423-4958

Marina V. Petrochenko,
Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia,
e-mail: mpetrochenko@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-4865-5319

Irina S. Ptukhina,
Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia,
e-mail: ptuhina_is@spbstu.ru
https://orcid.org/0000-0003-0054-2793

А. Ю. Городишенина,
ассистент,
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
195251, г. Санкт-Петербург,
ул. Политехническая, д. 29, Россия,
e-mail: gorodish_ayu@spbstu.ru
https://orcid.org/0000-0002-6901-3040

Вклад авторов

Величкин В. З., Петроченко М. В., Птухина И. С., Городишенина А. Ю. имеют равные авторские права. Городишенина А. Ю. несет ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Статья поступила в редакцию 31.01.2022.
Одобрена после рецензирования 24.02.2022.
Принята к публикации 25.02.2022.

Anna Yu. Gorodishenina,
Assistant,
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia,
e-mail: gorodish_ayu@spbstu.ru
https://orcid.org/0000-0002-6901-3040

Contribution of the authors

Velichkin V. Z., Petrochenko M. V., Ptukhina I. S., Gorodishenina A. Yu. have equal author's rights. Gorodishenina A. Yu. 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.

The article was submitted 31.01.2022.
Approved after reviewing 24.02.2022.
Accepted for publication 25.02.2022.

Научная статья
УДК 699.88
https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-28-39

Пути повышения эффективности исследований по авариям сооружений из стали

© Татьяна Львовна Дмитриева[1], Виктор Георгиевич Кудрин[2], Сергей Владимирович Деордиев[2]
[1]Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия
[2]Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия
Автор, ответственный за переписку: Кудрин Виктор Георгиевич, VKudrin@sfu-kras.ru

Аннотация. Цель работы состоит в анализе исследований по изучению аварий зданий и сооружений (ЗиС). Установлено, что большая часть работ посвящена описанию обстоятельств конкретных аварий и реже выявлению их причин; чаще публикуются классификации причин аварий без раскрытия источников информации; нет исследований по оценке влияния на статистику аварий человеческого фактора, в частности ошибок в проектах, дефектов металлопроката, некачественного изготовления или монтажа, а также нарушений правил эксплуатации ЗиС; для анализа и обработки информации по авариям в большинстве источников применяются устаревшие методики. Для изменения создавшегося положения предложены меры организационно-методического плана. Обоснована необходимость использования системного подхода и метода контент-анализа для поиска и обработки информации. Выявлено, что условиями предотвращения аварий следует считать соблюдение требований надежности на этапах проектирования, возведения и эксплуатации, организацию и правильную постановку службы эксплуатации содержания конструкций, своевременное их освидетельствование, профилактический и капитальный ремонт. В связи с этим ставится вопрос о важности накопления статистических данных о повреждениях и авариях, сгруппированных по единой научно обоснованной методике. Выдвинуто предложение установить единую форму представления информации по авариям с ее размещением на веб-порталах в свободном доступе с целью постоянного пополнения.

Ключевые слова: здание, сооружение, авария, хрупкое разрушение, человеческий фактор, системный подход, контент-анализ

Для цитирования: Дмитриева Т. Л., Кудрин В. Г., Деордиев С. В. Пути повышения эффективности исследований по авариям сооружений из стали // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 1. С. 28–39. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-28-39.

Original article

Approaches to enhancing the efficiency of research into accidents of steel structures

Tat'yana L. Dmitrieva[1], Viktor G. Kudrin[2], Sergei V. Deordiev[2],
[1]Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia
[2]Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia
Corresponding author: Viktor G. Kudrin, VKudrin@sfu-kras.ru

Abstract. This article reviews publications investigating accidents at buildings and civil engineering structures. According to the conducted analysis, such publications commonly describe the circumstances of specific accidents, rather than identify their causes. Classifications of accident causes are often published without disclosing the information sources. No publications have been found on assessing the impact of the human factor, including design errors, rolled metal defects, poor-quality manufacturing or installation, as well as violations of the operational rules. In the majority of publications, outdated methods are used for analysing and processing data on accidents. In order to improve

the current situation, organizational and methodological measures are proposed. The importance of using the methods of systems analysis and content analysis for searching and processing information is substantiated. It is shown that the main conditions for accident prevention involve strict compliance with reliability requirements at the design, constructional, and operational stages, organization of the maintenance service of structures, their timely inspection, as well as preventive and overhaul repairs. In this regard, the accumulation of statistical data on damages and accidents, grouped according to a unified scientifically-based methodology, appears to be of great importance. It is proposed to create a unified form for data representation on accidents that should be placed on web portals in open access for the purpose of its continuous replenishment.

Keywords: building, structures, accident, fragile destruction, human factor, systematic approach, content-analysis

For citation: Dmitrieva T. L., Kudrin V. G., Deordiev S. V. Approaches to enhancing the efficiency of research into accidents of steel structures. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(1):28-39. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-28-39.

Введение

В отечественной литературе достаточно много работ, анализирующих аварии зданий и сооружений (ЗиС), в том числе выполненных из стали. Данные источники – одна из составляющих для формирования и обновления нормативной базы системы мер обеспечения механической безопасности ЗиС на основе технических регламентов[1], а также планируемых нормативных разработок по расчетам надежности и долговечности ЗиС[2].

Цель и задачи данной статьи – выявление достоинств и недостатков такого рода работ, методик анализа и обработки информации, применяемых авторами, а также способов устранения несовершенств исследований по авариям.

Актуальность работы обеспечена отсутствием оценки такого плана в отечественной литературе.

Анализ исследований по авариям

Известные обзоры и монографии [1–6] посвящены в основном разбору с той или иной степенью подробности обстоятельств конкретных аварий и выявлению их причин. В то же время в них классифицируются как аварии, так и их причины, чаще всего, в зависимости от вида ЗиС или конструкций, хронологии, нарушений технологии выполнения отдельных видов работ по их созданию или нормативов, актуальных на тот момент.

Например, в обзоре [1] отмечается, что обрушения стальных конструкций повторяются вследствие хрупкого разрушения металла, обрушения силосов и силосных корпусов для хранения сыпучих тел из-за грубых дефектов производства работ и отступлений от проектов, обрушения сборных железобетонных и стальных несущих конструкций покрытий вследствие дефектов, допущенных при их изготовлении. Формами и видами отказов или переходов в предельное состояние также могут быть потеря устойчивости, чрезмерные деформации, коррозия, обрушение и другие.

По мнению авторов работы [2], «все аварии явились по существу результатом серьезных упущений и ошибок, допущенных инженерами и техниками, которые выполняли работы по созданию (проектированию, изготовлению и монтажу) стальных конструкций. Изучение аварий показало, что эти работники не всегда выполняют свои обязанности с полным знанием дела и сознанием той большой ответственности, которую они несут за надежность стальных конструкций».

Автор монографии [3] считает, что «непременными условиями предотвращения аварий следует считать проектирование, технологическое и эксплуатационное обеспечение требуемых характеристик надежности. Организация и правильная постановка службы эксплуатации содержания конструкций, своевременное их освидетельствование квалифицированными кадрами, профилактический и капитальный ремонт, усиление и сопутствующее ему регулирование напряжений представляют собой основные средства предотвращения аварий». Им же ставится

[1]О техническом регулировании: Федер. закон от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ;
Технический регламент о безопасности зданий и сооружений: Федер. закон от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ.
[2]ГОСТ Р ИСО 2394-2016. Конструкции строительные. Основные принципы надежности: введ. 01.05.2017. М.: Стандартинформ, 2016.

вопрос о первостепенном значении «накопления статистических данных о повреждениях и авариях, сгруппированных по единой научно обоснованной методике».

Авторы обзора [4] отмечают, что случаи аварийного состояния и обрушения стальных конструкций в процессе строительства и эксплуатации являются «следствием ошибок в проектах, дефектов металлопроката, некачественного изготовления или монтажа, а также нарушения правил эксплуатации».

Иногда исследователи, как в работах [2, 3, 5, 6], выявляют физико-технические обстоятельства аварий. Например, в обзоре [4] выделяются как производственные, возникающие «от недостаточного технического надзора и контроля качества выполнения работ при изготовлении стали, конструкций, строительстве или эксплуатации, а также вследствие ошибок, допущенных при проектировании», так и технические причины возникновения аварий – «отдельные виды деформаций и разрушений элементов деталей».

Но в последние годы чаще всего приводятся классификации причин аварий, где авторы лишь ссылаются на имеющуюся в их распоряжении информацию без ее раскрытия или с частичным раскрытием либо на конкретные ранее вышедшие в свет источники. Примером могут послужить исследования [7–11].

Например, в статье [11] приводится достаточно интересная статистика об обрушениях зданий по стране в период с 2004 по 2014 годы, но нет ссылок на источники данной информации.

Новацией последних лет является также появление классификаций аварий с учетом степени тяжести последствий и уровня ущерба, как, например, в работе [12].

Но и эти публикации полезны, поскольку сигнализируют о том, что наличие установленных обстоятельств увеличивает вероятность несчастных случаев. Это, в свою очередь, позволяет «минимизировать количество несчастных случаев и тяжесть последствий» [13] путем подготовки общества как в психологическом смысле, так и в организационном и материальном плане.

Поскольку для сведения к минимуму числа несчастных случаев и тяжести последствий необходимо уменьшение повторяемости ошибок и предотвращение аналогичных несчастных случаев [13], работы [5, 6] являются более значимыми для практики. Они посвящены выявлению фундаментальных ошибок, допущенных в самих конструкциях и при их реализации из-за недостаточного понимания условий на строительной площадке и неспособности предвидеть последствия таких ошибок [14].

Однако установлены лишь ошибки, влияющие на инициирование хрупкого разрушения. Так, в статье [5] показано, что при возникновении хрупких состояний наряду с ролью температурного фактора большое значение имеет характер нагружения конструкции. Хрупкие разрушения резервуаров и сосудов давления происходят при более высоких (примерно на 10 градусов) температурах, чем разрушения строительных конструкций, что обусловлено ролью абсолютных размеров.

В большинстве случаев хрупко разрушившиеся строительные конструкции были изготовлены из малоуглеродистой кипящей стали марки Ст3кп. Технологические дефекты и в первую очередь дефекты сварки играют особо важную роль при возникновении хрупких состояний.

В работах А. В. Сильвестрова [6] «статистически установлено, что с увеличением срока службы конструкций до разрушения вероятность последнего резко снижается, уровень номинальных напряжений в случае разрушения возрастает, а температура, при которой происходит разрушение элемента конструкции, снижается». Более того, за исключением единичных случаев, «инициирование хрупкого разрушения происходит в зонах их конструктивных и технологических несовершенств» (таблица), «именно конструктивная форма определяет, при прочих равных условиях, конечную хладостойкость элементов стальных конструкций» [6]. Под конструктивно-технологической формой низкой хладостойкости (КТФНХ) здесь подразумевается совокупность геометрии конструктивного решения элемента и технологических особенностей его изготовления и сварки.

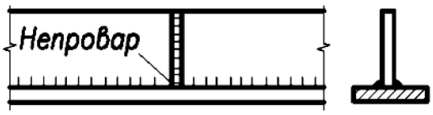
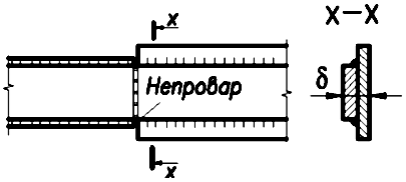
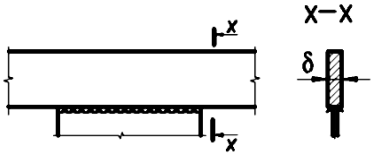
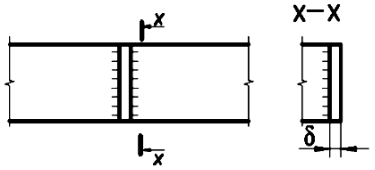
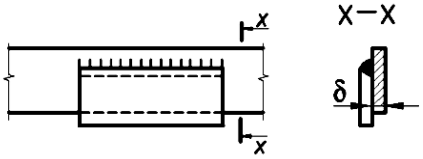
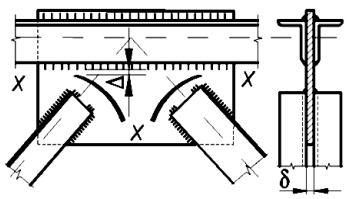
Более хладостойки сплошностенчатые изгибаемые стержни (балки, прогоны), чем сквозные конструкции (фермы).

Недостатком обсуждаемых исследований является отсутствие данных о роли человеческого фактора [15] в возникновении аварий, например, при оценке влияния нарушений технологии выполнения определенных видов операций создания и эксплуатации ЗиС и нормативов. Здесь человеческий фактор – многозначный термин, описывающий возможность принятия человеком ошибочных или нелогичных решений в конкретных ситуациях. Изначально данное понятие использовалось в военном деле и авиации.

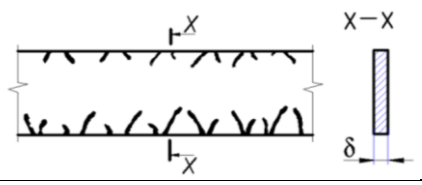
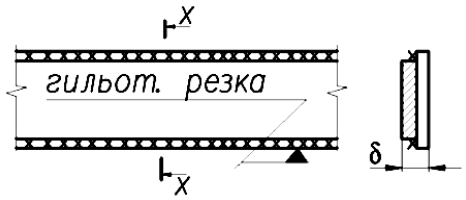
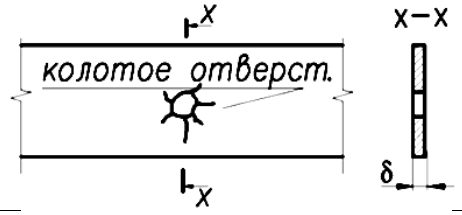
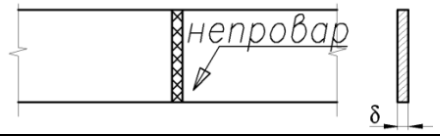
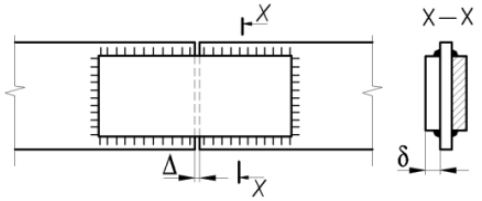
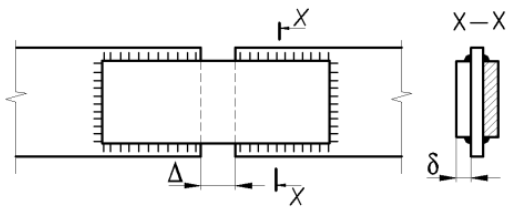
Позже начали оценивать его влияние на бизнес и управление. Термин «человеческий фактор» часто используется для объяснения причин катастроф и аварий, которые привели к потерям или человеческим жертвам.

Качество и технологическая дисциплина в строительстве на сегодняшний день низкие. Корни этого, по мнению автора работы [16], уходят в те советские времена, когда качество рабочей силы никак не оценивалось, а интерес представляли валовые, количественные показатели в условиях дефицита. Не было цели строить хорошо, а потом ещё лучше. Невнимание к качеству было обусловлено застойной экономикой, неэффективной системой труда и тяжелыми условиями жизни. И параллельно происходили сдвиги в сознании и культуре, которые, в свою очередь, порождали пренебрежительное отношение к окружающей среде, к потребительским свойствам вещей и к собственности как таковой.

Конструктивно-технологические формы низкой хладостойкости
Structural and technological forms of low cold resistance

Тип	Модификация	Схема конструктивно-технологического решения и расположение расчетного сечения (*x-x*)	Классификационные признаки КТФНХ
А	1		Составное растянутое сечение с непроваром стыкового шва одного из элементов при наличии связующих угловых швов: 1) без изменения сечения; 2) с изменением сечения
	2		
Б	1		Приварка дополнительных элементов (фасонок, траверс, ребер) к основному растянутому элементу: 1) по кромке основного элемента; 2) поперек основного элемента; 3) вдоль основного элемента без выхода на кромку
	2		
	3		
В	1		Фасонки ферм, стенки балок и листовых конструкций в зонах зазоров между приваренными к ним элементами различного назначения (опасность хрупкого разрушения возрастает с уменьшением зазора). 1 $\Delta \approx 0$; 2 $\Delta \approx 2{,}0\ \delta$

Окончание таблицы

Г	1		Растянутые элементы с кромками, образованными гильотинной резкой, или с продавленными отверстиями: 1) гильотинная резка кромок листовой стали; 2) гильотинная резка кромок листовой стали с продольными связующими сварными швами вблизи кромок; 3) пробивка отверстий
	2		
	3		
Д	1		Сварной многослойный стыковой шов с непроваром
Е	1		Стык растянутого элемента с накладками и фланговыми угловыми сварными швами: 1) зазор $\Delta \approx 0$; 2) зазор $\Delta \approx 2{,}0\ \delta$
	2		

При переходе к рыночным отношениям к отмеченному добавилось изменение моральных ориентиров общества [17], особенно в строительстве и системе жилищно-коммунального хозяйства, куда пришли за быстрыми и большими деньгами новые «собственники». Недостаточно внимания уделялось развитию системы профессионального технического образования. Негативно сказывались такие черты российского менталитета, как следование чувствам, а не законам, и неприязнь к тем, кто управляет и отдает распоряжения. Кроме того, работа государственных правоохранительных органов была неудовлетворительной.

Обсуждение методик исследований

К недостаткам обсуждаемых работ следует отнести неодинаковые объемы информации, имеющейся в распоряжении исследователей, ее разноплановость, а также их недостаточная компетентность. Это оказывает существенное влияние на полученные выводы, сказывается на вскрытии характера и динамики изменения основных причин аварий. Например, авторы книги [2], рассмотрев материалы по 39 авариям, делают вывод, что «наиболее частыми причинами… являлись ошибки в чертежах КМ и КМД, низкое качество работ и упущения при монтаже конструкций, низкое качество их изготовления». А авторы работы [6], изучив данные об авариях на 236 объектах, утверждают, что наибольшее количество дефектов и повреждений, приводящих к авариям, конструкции получают на стадиях монтажа и эксплуатации (рис. 1).

Авторы анализа [18] при расследовании причин аварий на 74 объектах со стальным каркасом и стальными несущими конструкционными элементами с 1981 по 2003 гг. выявили, что последние в основном происходят на эксплуатируемых зданиях и сооружениях.

Существенным недостатком обсуждаемых работ являются также устаревшие методы анализа и обработки информации, используемые исследователями.

Чаще всего они находят процент разрушенных конструкций от их общего числа или процент любого параметра в общем диапазоне, не принимая во внимание относительность его присутствия. Гораздо реже определяют вероятность наступления разрушения P, учитывая ее первоначальную величину, равную, например, 50 %. В источнике [5] используется соотношение $P = (m - 0{,}5) / n \times 100$ %, где m – порядковый номер разрушения, n – общее количество разрушений (рис. 2).

Также редко вычисляют вероятность наступления разрушения, оценивая частоту аварий, как, например, в источнике [18].

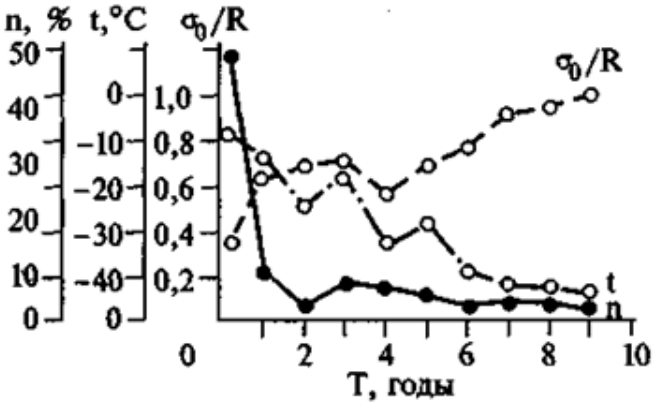


Рис. 1. Влияние срока службы на температуру разрушения, интенсивность отказов и уровень номинальных напряжений, где n – интенсивность отказов

Fig. 1. The effect of the service life on the failure temperature, failure rate and the level of rated voltages, where m is the distribution of the thickness of structural elements; n is the failure rate

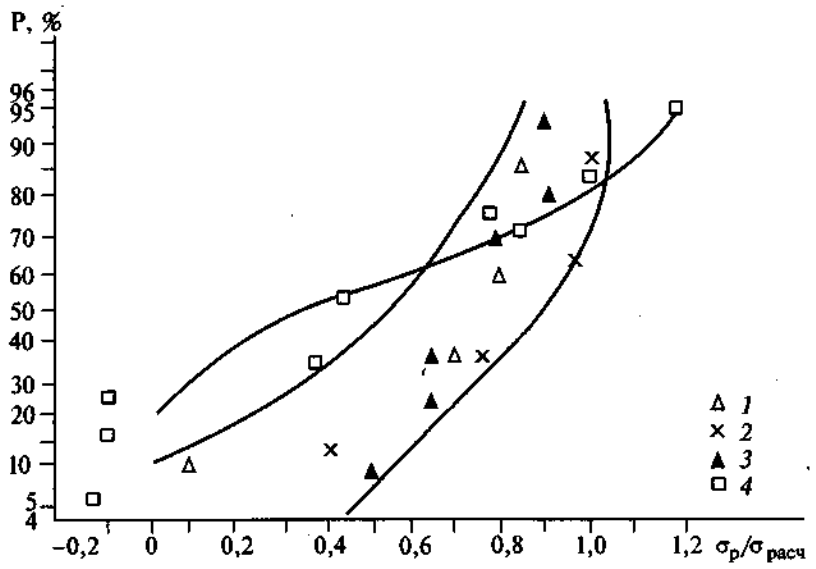


Рис. 2. Распределение вероятности разрушения строительных конструкций в зависимости от уровня напряжений:
1 – балки; *2* – эстакады; *3* – фермы; *4* – резервуары

Fig. 2. Distribution of the probability of destruction of building structures from the stress level:
1 – beams; *2* – trestles; *3* – trusses; *4* – tanks

Заметим, что в других отраслях, не связанных со строительством, как в России, так и за рубежом, существует множество других методов и инструментов для поиска и обработки информации. Например, широко используются системный подход [19] и метод контент-анализа [20].

Однако если необходимость использования системного подхода, хотя и на уровне декларирования, корифеями признается [13], то в плане его практического применения есть лишь отдельные попытки [12, 21].

Например, системный подход к анализу аварий был применен одним из авторов этой статьи более 30 лет назад [21]. В указанной работе, помимо выявления роли факторов, инициирующих хрупкое разрушение стальных строительных конструкций, и их иерархии, был определен характер взаимосвязей между ними, а также законы функционирования и взаимодействия всей данной системы в целом. Это позволило оценить значимость отдельных требований строительных норм и правил для предотвращения такого рода разрушений и определить модели конструктивных форм пониженной хладостойкости, являющихся перспективными для дальнейшего экспериментального изучения.

В работе [19] системный подход, включающий в себя: сбор и анализ информации о техническом состоянии и приемлемых рисках резервуарных парков (РП); разработку нормативных документов по промышленной безопасности РП; комплексную экспертизу промышленной безопасности (ЭПБ) РП; классификацию и категорирование РП по степени риска; электронную паспортизацию РП; создание базы данных РП; оптимизацию межремонтных сроков эксплуатации РП с перспективой перехода к эксплуатации по фактическому техническому состоянию; технические и организационные аспекты управления рисками и мониторинга технического состояния РП – применен для обеспечения промышленной безопасности резервуарных конструкций. Здесь же предложено бремя рисков аварий и финансовую ответственность за них переложить на страховые компании, которые, чтобы иметь свою прибыль, заинтересованы в поддержании промышленной безопасности застрахованного объекта на должном уровне.

Методика контент-анализа для изучения безопасности строительных объектов реализована также в единичных случаях. Например, в работе [22] представлены результаты анализа отдельных положений Технического регламента о безопасности зданий и сооружений – Федерального закона от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ – с позиций его применимости в судебной практике.

Объектом изучения являлись судебные решения, включенные в качестве дополнительных данных к ФЗ № 384 в информационный банк справочно-правовой системы (ИБ СПС) «Консультант Плюс». Т.е. единицами контент-анализа выступали части и статьи ФЗ № 384, а единицами счета – частота упоминаний выделенной смысловой единицы в системе «Консультант Плюс». Оценивались те единицы, в которых есть ссылки на статьи, связанные с обеспечением исключительно механической безопасности зданий и сооружений. При выделении статей учитывались сущность и направленность изложенных в них положений, не всегда совпадающих с их названием.

В результате было установлено, что, несмотря на несовершенство ФЗ № 384, он находит применение в судебной практике – положения его статей используются для установления *события* правонарушения, а также выявлена неравнозначность отдельных статей закона и определен их вклад в обеспечение безопасности отдельных этапов жизненного цикла строительных систем.

Для изменения создавшегося положения, по мнению авторов, целесообразно формирование общих баз информации по авариям для однородных ЗиС и отдельных конструкций, чтобы число единиц анализа и единиц счета было достаточным для проведения всестороннего изучения.

Необходимо собрать в них всю имеющуюся на сегодняшний день информацию, включая и ту, которая по разным мотивам была засекречена (для нее достаточно не указывать точное месторасположение объекта и конкретных виновников аварий).

В качестве ремарки отметим, что в России нет, и, в сущности, не было, *государственной* системы информирования об авариях с целью предотвращения их повторения.

Так, по данным [18], в бывшем СССР до 1981 года сведения об авариях, произошедших на территории страны, в официальной печати не публиковались. С 1981 года такие данные стали обобщаться Государственной строительной инспекцией Госстроя СССР, но для служебного пользования.

С 1993 по 2003 год учет аварий проводила Главная инспекция Госархстройнадзора России. Она же занималась и анализом материалов по их расследованию. С 2004 года эти функции переданы Федеральной службе

по экологическому, технологическому и атомному надзору. Однако результаты их работы не публикуются. Равно отсутствуют в открытой печати и полноценные анализы аварий, подобные проведенному в источнике [18].

С 2009 по 2016 годы и с 2009 по 2013 годы статистика аварий строительных объектов велась соответственно в электронном журнале «Предотвращение аварий зданий и сооружений» компании «ВЕЛД» и на сайте Национального объединения строителей. Но на сегодняшний день, по-видимому, и они такую работу прекратили.

Требуется зафиксировать единую форму представления такого рода информации (например, в виде формуляра, как предложено в работе [23]) для всех исследователей, что даст возможность производить обработку массивов информации на ЭВМ.

Целесообразно размещать такие формуляры на специализированных веб-порталах в свободном доступе с целью постоянного пополнения, что позволит отслеживать плагиат и получить действительную картину, не зависящую от предпочтений и интересов разных организаций и исследователей.

Примером такого подхода является опыт успешной и плодотворной работы специалистов общероссийского общественного фонда «Центр качества строительства», так как выполненный ими анализ аварий [18] на порядок качественнее, чем все предыдущие отчеты Госархстройнадзора РФ.

Следует также в полной мере освещать в открытой печати технические подробности аварий: с информацией о том, кто проводил расследование, причинами аварии и выводами комиссии; с указанием параметров конструктивно-технологического оформления разрушенных конструкций и выделением влияния именно «человеческого» фактора, т.е. ошибок людей.

Желательно создать и вести на постоянной основе (например, на специализированных веб-порталах типа *pamag.ru*) рубрику о работах зарубежных ученых по изучению аварий строительных объектов и вообще об исследованиях, связанных с этой тематикой, так как старшее поколение, не владеющее иностранными языками, не может ознакомиться с публикациями в иностранной печати, а молодое, в совершенстве ими владеющее, из-за недостаточной квалификации может не обратить внимания на ценные работы.

Нужно также разместить в свободном доступе цифровые версии ранее опубликованных (особенно в региональных периодических изданиях, сборниках трудов НИИ, вузов и проектных институтов и т. п.) статей и сообщений по авариям.

Такой обмен источниками информации широко практикуется на веб-портале *dwg.ru*. И это весьма полезно в связи с тем, что иные пути доступа к указанной литературе сейчас трудоемки и дорогостоящи.

Рекомендуем предоставлять доступ к указанной информации всем заинтересованным исследователям, а не ограниченному кругу лиц.

Кроме того, будет полезным обсуждать на тематических веб-форумах методики обработки информации по авариям.

Заключение

Проведенное исследование позволило сформулировать следующие выводы:

1. Большая часть работ, анализирующих аварии ЗиС, посвящена описанию обстоятельств конкретных аварий и выявлению их причин. В последние годы чаще публикуются классификации причин аварий, основанные на ранее вышедших в свет источниках либо на имеющейся в распоряжении авторов информации, но без ее раскрытия.

2. Нет исследований по оценке влияния человеческого фактора на возникновение нарушений технологии при выполнении отдельных видов работ по созданию и эксплуатации ЗиС, а также нормативов.

3. Применяемые методики анализа и обработки информации устарели.

4. Для устранения несовершенств исследований аварий ЗиС целесообразно использовать следующие меры организационно-методического плана:

- при анализе аварий ЗиС обращать особое внимание на влияние *человеческого фактора* на их возникновение;
- зафиксировать единую форму представления информации по авариям с ее размещением на веб-порталах в свободном доступе с целью постоянного пополнения;
- создать и вести на интернет-портале на постоянной основе рубрику по изучению аварий строительных объектов, методике обработки информации по авариям, в особенности за рубежом;
- использовать для поиска и обработки информации системный подход и методики контент-анализа.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Шкинёв А. Н. Аварии на строительных объектах, их причины и способы предупреждения и ликвидации. М.: Стройиздат, 1966. 308 с.
2. Беляев Б. И., Корниенко Д. С. Причины аварий стальных конструкций и способы их устранения. М.: Стройиздат, 1968. 206 с.
3. Лащенко М. Н. Аварии металлических конструкций зданий и сооружений. Л.: Стройиздат, 1969. 183 с.
4. Сахновский М. М., Титов А. М. Уроки аварий стальных конструкций. К.: Будівельник, 1969. 200 с.
5. Мельников Н. П., Винклер О. Н., Махутов Н. А. Условия и причины хрупких разрушений строительных стальных конструкций // ЦНИИПроектстальконструкция. Материалы по металлическим конструкциям. Вып. 16. М.: Изд-во литературы по строительству, 1972. С. 14–27.
6. Сильвестров А. В. Хладостойкость стальных конструкций // Бирюлёв В. В., Кошин И. И., Крылов И. И., Сильвестров А. В. Проектирование металлических конструкций: Спец. курс. Л.: Стройиздат, 1990. С. 199–211.
7. Беляев Б. Ф., Гимаев Г. А. О технических причинах аварий и повреждений строительных металлоконструкций промышленных зданий и сооружений // Промышленное и гражданское строительство. 2002. № 6. С. 20–21.
8. Тавкинь А. А. Основные причины аварий зданий и сооружений [Электронный ресурс] // Предотвращение аварий зданий и сооружений: электронный журнал. URL: http://www.pamag.ru/pressa/prichina-avarii (04.03.2021).
9. Четверик Н. П. Аварии и происшествия на строительных объектах – доколь? [Электронный ресурс] // Предотвращение аварий зданий и сооружений: электронный журнал. URL: https://pamag.ru/pressa/accidents_construction-sites (04.03.2021).
10. Шишкина Н. А. Отношение общественности к эксплуатируемым строительным объектам [Электронный ресурс] // Предотвращение аварий зданий и сооружений: монография / под ред. К. И. Ерёмина. С. 7–18. URL: http://pamag.ru/src/predotvrashenie-avarii_sdanii/predotvrashenie-avarii_sdanii.pdf (04.03.2021).
11. Травуш В. И., Емельянов С. Г., Колчунов В. И. Безопасность среды жизнедеятельности – смысл и задача строительной науки // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 7. С. 20–27.
12. Ханухов Х. М., Алипов А. В. Нормативно-техническое и организационное обеспечение безопасной эксплуатации резервуарных конструкций [Электронный ресурс] // Предотвращение аварий зданий и сооружений: электронный журнал. URL: http://www.pamag.ru/src/ntoo-berk/ntoo-berk.pdf (04.03.2021).
13. Пономарев В. Н., Травуш В. И., Бондаренко В. М., Еремин К. И. О необходимости системного подхода к научным исследованиям в области комплексной безопасности и предотвращения аварий зданий и сооружений [Электронный ресурс] // Предотвращение аварий зданий и сооружений: электронный журнал. URL: http://www.pamag.ru/pressa/necessiy_sys-appro (04.03.2021).
14. Уайт Б. Предисловие к английскому изданию // Хэммонд Р. Аварии зданий и сооружений: причины и уроки аварий современных сооружений различных типов / пер. с англ. М.: Стройиздат, 1960. С. 10.
15. Salvendy G. (eds.). Handbook of human factors and ergonomics. 4th ed. John Wiley & Sons, 2012. 1732 p.
16. Боков А. В. Культура строительства невозможна без строительства культуры // Строительный эксперт: информационная отраслевая газета. 2008. № 22 (281). С. 1–2.
17. Трунов И. Л. Безопасность строительства в России [Электронный ресурс] // Право и безопасность. 2008. № 2 (27). URL: http://dpr.ru/pravo/pravo_23_13.htm (04.03.2021).
18. Аварии зданий и сооружений на территории Российской Федерации в 2003 году [Электронный ресурс] / Общероссийский общественный фонд «Центр качества строительства». М., 2004. URL: http://www.gosthelp.ru/text/Avariizdanijisooruzhenijn.html (04.03.2021).
19. Блауберг И. В., Садовский В. Н., Юдин Э. Г. Системный подход в современной науке // Проблемы методологии системных исследований. М.: Мысль, 1970. С. 7–48.
20. Holsti O. R. Content analysis for the social sciences and humanities. Reading, Mass, Addison-Wesley Pub., 1969. 235 p.
21. Сильвестров А. В., Кудрин В. Г. Оценка значимости нормативных требований по предотвращению хрупкого разрушения стальных строительных конструкций с позиций системного подхода // Известия высших учебных заведений. Строительство и архитектура. 1985. № 2. С. 121–125.

22. Москвичев В. В., Кудрин В. Г., Деордиев С. В., Петухова И. Я. Технический регламент о безопасности сооружений: судебная практика // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2019. № 2. С. 4–10.

23. Крылов И. И., Шевцов Ю. П. Классификация причин отказов стальных конструкций производственных зданий и сооружений // Известия высших учебных заведений. Строительство и архитектура. 1983. № 11. С. 16–19.

REFERENCES

1. Shkinev AN. Accidents on construction objects, their causes and methods of prevention and elimination. Moscow: Stroizdat;1966. 308 p. (In Russ.).

2. Belyaev BI, Kornienko DS. Causes of accidents of steel structures and ways to eliminate them. Moscow: Stroizdat; 1968. 206 p. (In Russ.).

3. Lashenko MN. Accidents of metal structures of buildings. Leningrad: Stroizdat; 1969. 183 p. (In Russ.).

4. Sakhnovskii MM, Titov AM. Lessons of the accidents of steel structures. Kiev: Budivelnik; 1969. 200 p. (In Russ.).

5. Melnikov NP, Vinkler ON, Makhutov NA. Conditions and causes of brittle destruction of building steel structures. *TsNIIProektstal'konstruktsiya. Materialy po metallicheskim konstruktsiyam*. 1972;16:14-27. (In Russ.).

6. Silvestrov AV. Cold resistance of steel structures. *Proektirovanie metallicheskih konstrukcij: Spec. kurs*. Leningrad: Stroizdat; 1990. p. 199-211. (In Russ.).

7. Belyaev BF, Gimaev GA. On technical causes of accidents and damages to metal structures of industrial buildings. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo = Industrial and civil engineering*. 2002;6:20-21. (In Russ.).

8. Tavkin AA. The main causes of failures of buildings and structures. *Predotvrashchenie avarii zdanii i sooruzhenii: elektronnyi zhurnal*. Available from: http://www.pamag.ru/pressa/prichina-avarii [Accessed 20th January 2021]. (In Russ.).

9. Chetverik NP. Accidents and incidents at construction sites – how long? *Predotvrashchenie avarii zdanii i sooruzhenii: elektronnyi zhurnal*. Available from: https://pamag.ru/pressa/accidents_construction-sites [Accessed 20 January 2021]. (In Russ.).

10. Shishkina NA. Public attitude to operated construction objects. *Predotvrashchenie avarii zdanii i sooruzhenii: monograph*. Available from: http://pamag.ru/src/predotvrashenie-avarii_sdanii/predotvrashenie-avarii_sdanii.pdf [Accessed 20th January 2021]. (In Russ.).

11. Travush VI, Emelyanov SG, Kolchunov VI. The safety of living environment - meaning and task of building science. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo = Industrial and civil engineering*. 2015;7:20-27. (In Russ.).

12. Knanukhov KhM, Alipov AV. Normative-technical and organizational provision of safe maintenance of tank structures. *Predotvrashchenie avarii zdanii i sooruzhenii: elektronnyi zhurnal.* Available from: http://www.pamag.ru/src/ntoo-berk/ntoo-berk.pdf [Accessed 20th January 2021]. (In Russ.).

13. Ponomarev VN, Travush VI, Bondarenko VM, Eremin KI. On the need for a systematic approach to research in the field of integrated safety and prevention of accidents of buildings and structures. *Predotvrashchenie avarii zdanii i sooruzhenii: elektronnyi zhurnal.* Available from: http://www.pamag.ru/pressa/necessiy_sys-appro [Accessed 20 Jan 2021]. (In Russ.).

14. White B. Preface to the English edition. *Hammond R. Engineering structural failures.* Moscow: Stroizdat; 1960. p. 10. (In Russ.).

15. Salvendy G. (eds.). Handbook of human factors and ergonomics. 4th ed. John Wiley & Sons, 2012. 1732 p.

16. Bokov AV. Culture of construction is impossible without culture building. *Stroitel'nyi ekspert: informatsionnaya otraslevaya gazeta.* 2008. No. 22 (281). p. 1-2. (In Russ.).

17. Trunov IL. Safety of construction in Russia. *Pravo i bezopasnost'.* 2008. No. 2 (27). Available from: http://dpr.ru/pravo/pravo_23_13.htm [Accessed 04th March 2021]. (In Russ.).

18. Accidents of buildings and structures on the territory of the Russian Federation in 2003. Moscow, 2004. Available from: http://www.gosthelp.ru/text/Avariizdanijisooruzhenijn.html [Accessed 20 January 2021]. (In Russ.).

19. Blauberg IV, Sadovsky VN, Yudin EG. System approach in modern science. *Problems of methodology of system research*. Moscow: Mysl; 1970. p. 7-48. (In Russ.).

20. Holsti OR. Content analysis for the social sciences and humanities. Reading, Mass, Addison-Wesley Pub.; 1969. 235 p.

21. Silvestrov AV, Kudrin VG. Assessment of the significance of regulatory requirements to prevent brittle destruction of steel brittle struc-

tures from the standpoint of a systematic approach. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo i arkhitektura.* 1985;2:121-125. (In Russ.).
22. Moskvichev VV, Kudrin VG, Deordiev SV, Petuchova IYa. Technical regulations on safety of structures: judicial practice. *Problemy bezopasnosti i chrezvychainykh situatsii = Safety and emergencies problems.* 2019;2:4-10. (In Russ.).
23. Krylov II, Shevtsov YP. Classification of causes for failures of steel structures of industrial buildings. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 1983;11:16-19. (In Russ.).

Информация об авторах

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: dmital@istu.edu, tmsm@istu.edu
https://orcid.org/0000-0002-4622-9025

В. Г. Кудрин,
кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций и управляемых систем,
Сибирский федеральный университет,
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 82а, Россия,
e-mail: VKudrin@sfu-kras.ru
https://orcid.org/0000-0003-2464-5797

С. В. Деордиев,
кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций и управляемых систем,
Сибирский федеральный университет,
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 82а, Россия,
e-mail: SDeordiev@sfu-kras.ru
https://orcid.org/0000-0003-2026-820X

Information about the authors

Tat'yana 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: dmital@istu.edu, tmsm@istu.edu
https://orcid.org/0000-0002-4622-9025

Viktor G. Kudrin,
Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of Departments of Building Structures and Controlled Systems,
Siberian Federal University,
82A Svobodnyy Av., Krasnoyarsk, 660041, Russia,
e-mail: VKudrin@sfu-kras.ru
https://orcid.org/0000-0003-2464-5797

Sergei V. Deordiev,
Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor Of Departments of Building Structures and Controlled Systems,
Siberian Federal University,
82A Svobodnyy Av., Krasnoyarsk, 660041, Russia,
e-mail: SDeordiev@sfu-kras.ru
https://orcid.org/0000-0003-2026-820X

Вклад авторов

Дмитриева Т. Л., Кудрин В. Г., Деордиев С. В. имеют равные авторские права. Кудрин В. Г. несет ответственность за плагиат.

Contribution of the authors

Dmitrieva T. L., Kudrin V. G., Deordiev S. V. have equal author's rights. Kudrin V. G. 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.

Статья поступила в редакцию 12.01.2022.
Одобрена после рецензирования 10.02.2022.
Принята к публикации 11.02.2022.

The article was submitted 12.01.2022.
Approved after reviewing 10.02.2022.
Accepted for publication 11.02.2022.

Научная статья
УДК 628.144.2
https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-40-51

Оценка адекватности модели вероятностных отборов воды и распределения потоков реальным процессам, происходящим в системах подачи и распределения воды

© Алексей Сергеевич Душин,
ООО «Сетевая компания “ИРКУТ”», г. Иркутск, Россия, a.s.dushin@mail.ru

Аннотация. Цель работы – доказать, что разработанная математическая модель отборов воды и распределения потоков адекватна вероятностным процессам, происходящим в системах подачи и распределения воды (СПРВ), доказать справедливость использования разработанной модели для описания процесса функционирования СПРВ. На сегодняшний день при проектировании к данным системам предъявляются высокие требования: надежности обеспечения потребителей, экономичности функционирования СПРВ. Добиться создания систем подачи и распределения воды, обладающих указанными качествами, можно только на основании анализа функционирования существующих СПРВ, учета множества факторов, в которых данные системы эксплуатируются. Учет процесса вероятностных отборов воды, задающих тон работы всей системе, является одним из ключевых моментов в этом анализе. На примере СПРВ, согласно комбинациям отборов воды одних узлов и возможным комбинациям отборов других узлов, произведено распределение потоков. На той же схеме СПРВ по отборам произведено распределение потоков по исследуемой методике. По рассматриваемым вариантам в соответствии с результатами гидравлических расчетов получены вероятностные параметры работы СПРВ, были сопоставлены их значения. Полученные по вариантам параметры имеют между собой незначительные расхождения. Сделан вывод, что вероятностная модель функционирования СПРВ достаточно проста, не требует большого количества операций, соответственно, влечет меньше затрат труда и времени, в отличие от других методов. Ранее разработанная математическая модель отборов и распределения потоков по исследуемой методике справедливо использована для описания процесса функционирования СПРВ, может быть применена для оценки надежности обеспечения потребителей водой.

Ключевые слова: водоснабжение, система подачи и распределения воды, нефиксированный отбор воды, вероятностный характер водопотребления

Для цитирования*:* Душин А. С. Оценка адекватности модели вероятностных отборов воды и распределения потоков реальным процессам, происходящим в системах подачи и распределения воды // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 1. С. 40–51. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-40-51.

Original article

Assessment of the adequacy of probabilistic water sampling and flow distribution model to the real processes in the water supply and distribution systems

Aleksei S. Dushin
LLC Network company “IRKUT”, Irkutsk, Russia, a.s.dushin@mail.ru

Abstract. The study is aimed at justifying the adequacy of a previously developed mathematical model of water sampling and flow distribution to the probabilistic processes taking place in water supply and distribution systems (WSDS), as well as the validity of using the developed model for describing the WSDS operational process. At present, the design of such systems is subject to severe requirements, including the reliability of consumer supply and the cost efficiency of WSDS operation. WSDS meeting these requirements can be created based on the analysis of existing WSDS, considering the effect of various external factors. A key aspect in such an analysis is probabilistic water sampling as the process determining the operation of the entire system. According to water sampling combinations of various WSDS units, the procedure of flow distribution was carried out. Using the same WSDS, a sampling-based distribution of flows according to the presented method was performed. The probabilistic param-

eters of WSDS operation for the considered options were obtained and compared with the results of hydraulic calculations. The obtained parameters showed good agreement. In comparison with other methods, the described probabilistic model of WSDS operation is characterized by operational simplicity and cost efficiency due to the small number of operations. The previously developed mathematical model of sampling and flow distribution according to the studied method can be used for describing WSDS operational processes and assessing the reliability of water supply to consumers.

Keywords: water supply, water supply and distribution system, non-fixed water withdrawal, probabilistic nature of water consumption

For citation: Dushin A. S. Assessment of the adequacy of probabilistic water sampling and flow distribution model to the real processes in the water supply and distribution systems. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(1):40-51. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-40-51.

Введение

Системы подачи и распределения воды (СПРВ) являются неотъемлемой частью современных городов, населенных пунктов. СПРВ, призванные обеспечивать комфортный уровень жизни, требуют существенных финансовых вложений. Вопросы оптимизации работы данных систем всегда будут актуальными. Анализ существующих СПРВ показывает, что многие системы на сегодняшний день не отвечают требованиям надежности, управляемости и экономичности. Основной причиной этого является сложившаяся практика проектирования. Методы расчета СПРВ устарели. Работа систем подачи и распределения воды является многорежимной. Формирует эти режимы характер отборов воды потребителями. Создание математической модели, учитывающей все многообразие комбинаций возможных отборов (метод Монте-Карло) [1], требует значительных усилий и затрат времени, создания программ, мощной вычислительной техники, обеспечивающей колоссальные объемы памяти под определяемые параметры, что на данный момент затруднительно. В силу очень большого числа требуемых вычислений и относительных возможностей компьютерных технологий в основном существующие методы расчета систем подачи и распределения воды базируются на детерминированном подходе. СПРВ, созданные по такому принципу, не отвечают адекватностью реальным процессам, происходящим в системах, работа СПРВ становится неэффективной, ведет к нерациональному использованию материальных ресурсов. Благодаря анализу статистического материала о водопотреблении и литературных источников [2–10] с использованием законов распределения случайных величин и математических свойств статистических параметров[1] ранее была разработана модель функционирования систем подачи и распределения воды, учитывающая вероятностный характер отборов воды потребителями [11–18]. Модель достаточно проста, не требует большого количества операций, соответственно, влечет меньше затрат труда и времени.

Цель исследования – доказать, что ранее разработанная математическая модель отборов воды, распределения потоков отвечает адекватностью вероятностным процессам, происходящим в СПРВ, доказать справедливость использования разработанной модели для описания процесса функционирования СПРВ.

Методы

Разработанная модель вероятностных отборов воды потребителями связана с представлением каждого узла большой группой потребителей, имеющих непрерывное распределение отборов воды.

Характеристика узлового отбора воды представлена на рис. 1.

В соответствии с правилом 3 сигм[2] узловые отборы воды потребителями, как случайные величины, по каждому часу t можно рассматривать в пределах доверительного коридора: $\overline{Q}_t^{[\min]} - 3 \cdot \sigma_{Q,t}^{[\min]}$ – нижнее ограничение; $\overline{Q}_t^{[\max]} + 3 \cdot \sigma_{Q,t}^{[\max]}$ – верхнее ограничение, где $\overline{Q}_t$ – математическое ожидание отбора, σ_t – среднеквадратическое отклонение отбора.

[1]Венцель Е. С. Теория вероятностей: учебник. М.: Высш. шк., 2001. 575 с.;
Пугачев В. С. Теория вероятностей и математическая статистика: учебник. М.: Наука, 1979. 496 с.;
Кремер Н. Ш. Теория вероятностей и математическая статистика: учебник для вузов. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2004. 573 с.
[2]Там же.

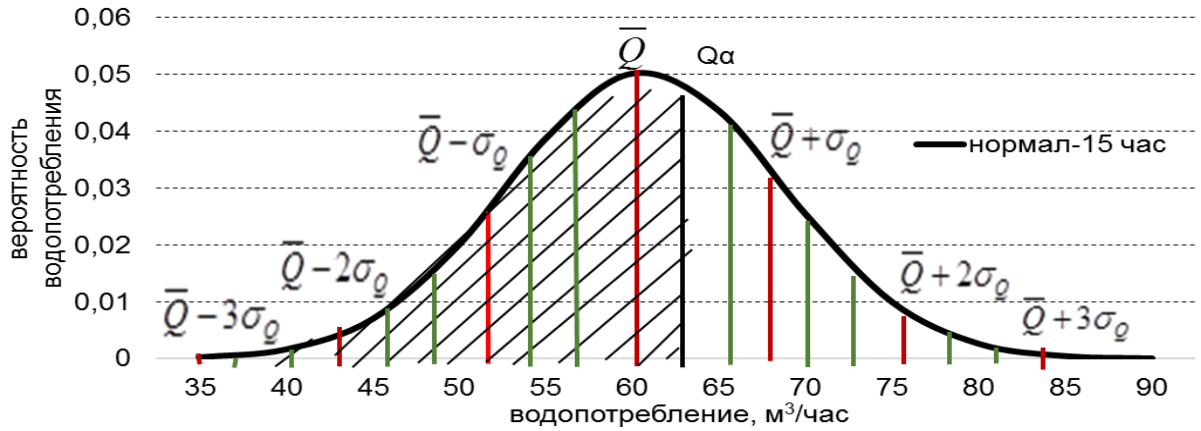


Рис. 1. Плотность распределения вероятности узлового отбора воды часа *t*
Fig. 1. Probability density distribution of nodal water withdrawal of hour *t*

Распределение вероятности водопотребления каждого часа в течение суток, представленного на рис. 1, рассекается на несколько *k* равных интервалов [*αs* – 1; *αs*], с размером каждого $\sigma_{j,t}$ / 3. Сечения на рис. 1 обозначены красными и зелеными линиями. *k* составит 18, *αs* сечений – 19. Узловой отбор по *αs*:

$$Q_{j,\alpha_s,t} = \overline{Q}_{j,t} - 3\cdot\sigma_{j,t} + \alpha_s\cdot\sigma_{j,t}/3 .$$

Рассмотрим определение границ интервала отбора в пределах каждого часа.

Нижнее ограничение – *α* (сечение α_s – 1): $Q^{треб}_{j,\alpha_s-1,t} = \overline{Q}^{треб}_{j,t} - 3\cdot\sigma^{треб}_{Q,j,t} + (\alpha_s - 1)\cdot\sigma^{треб}_{Q,j,t}/3$, верхнее ограничение – *β* (сечение *αs*): $Q^{треб}_{j,\alpha_s,t} = \overline{Q}^{треб}_{j,t} - 3\cdot\sigma^{треб}_{Q,j,t} + \alpha_s\cdot\sigma^{треб}_{Q,j,t}/3$, *αs* – номер сечения, *t* – час исследования, *j* – номер узла. Математическое описание плотности распределения вероятности потребления воды приведено в соответствии с нормальным законом распределения (использована функция Лапласа, ее преобразования):

$$\rho_k = \Phi\left(\frac{\beta - M(x)}{\sigma(x)}\right) - \Phi\left(\frac{\alpha - M(x)}{\sigma(x)}\right) = \Phi\left(\frac{Q^{треб}_{j,\alpha_s,t} - \overline{Q}^{треб}_{j,t}}{\sigma^{треб}_{Q,j,t}}\right) - \Phi\left(\frac{Q^{треб}_{j,\alpha_s-1,t} - \overline{Q}^{треб}_{j,t}}{\sigma^{треб}_{Q,j,t}}\right) = \Phi\left(\frac{\overline{Q}^{треб}_{j,t} - 3\cdot\sigma^{треб}_{Q,j,t} + \alpha_s\cdot\sigma^{треб}_{Q,j,t}/3 - \overline{Q}^{треб}_{j,t}}{\sigma^{треб}_{Q,j,t}}\right) -$$

$$-\Phi\left(\frac{\overline{Q}^{треб}_{j,t} - 3\cdot\sigma^{треб}_{Q,j,t} + (\alpha_s - 1)\cdot\sigma^{треб}_{Q,j,t}/3 - \overline{Q}^{треб}_{j,t}}{\sigma^{треб}_{Q,j,t}}\right) = \Phi(-3 + \alpha_s/3) - \Phi(-3 + (\alpha_s - 1)/3)$$

$$\rho_k = p^{обеспечения}_{j,\alpha_s,t} - p^{обеспечения}_{j,\alpha_s-1,t} = 0{,}5 \pm \Phi(-3 + \alpha_s/3) - \left(0{,}5 \pm \Phi(-3 + (\alpha_s - 1)/3)\right) = \Phi(-3 + \alpha_s/3) - \Phi(-3 + (\alpha_s - 1)/3),$$

где p_k – вероятность появления интервала между сечениями α_{s-1} и α_s; *Φ(X)* – функция Лапласа (табличные величины).

Часовые узловые отборы приобретают вид, представленный ниже.

Отбор $Q_{j,k,t}$ в интервале *k*:

$$Q_{j,k,t} = \left(Q_{j,\alpha_s,t} + Q_{j,\alpha_s-1,t}\right)/2 .$$

Отбор $Q_{j,t}$:

$$Q_{j,t} = \sum_{k=1}^{18} Q_{j,k,t}\cdot\rho_k ,$$

где $\rho_k = \Phi(-3 + \alpha_s/3) - \Phi(-3 + (\alpha_s - 1)/3)$,

где *t* – исследуемый час; $Q_{j,k,t}$ – часовой узловой отбор воды $Q_{j,t}$ в интервале *k* по результатам гидравлического расчета, *j* – номер узла.

Рассмотрим математическую модель вероятностного распределения потоков.

Системой уравнений, представляющих собой законы Кирхгофа, по каждому сечению α_s [0,…,18] представлено описание процесса распределения потоков *X* по ветвям *i*:

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

при *A* – *(m – 1)* × *n* – матрица инциденций «узлы – ветви» с элементами a_{ij}; *X* – *n* – вектор расходов на ветвях с элементами $x_{i,t}$; *H* – *n* – вектор действующих напоров на ветвях с элементами $H_{i,t}$; *P* – *(m – 1)* – мерный вектор узловых давлений с элементами $P_{j,t}$; *Q* – *(m – 1)* – мерный вектор узловых отборов с элементами $Q_{j,\alpha,t} = f(t,\alpha_s,P_j)$:

$$Q_{j,\alpha_s,t} = \begin{cases} Q^*_{j,\alpha_s,t}, \text{ если } P_{j,\alpha_s,t} \geq P^*_j, \\ Q_{j,\alpha_s,t}\left(P_{j,\alpha_s,t}\right), \text{ если } Z_j \langle P_{j,\alpha_s,t} \langle P^*_j, \\ 0, \text{ если } P_{j,\alpha_s,t} \leq Z_j, \end{cases} \quad (12)$$

где Z_j – геодезическая отметка поверхности земли, м; $Q_{j,\alpha,t}^*$ – требуемый отбор, м^3/час; P_j^* – требуемый свободный напор, м.

Для поиска доказательств справедливости использования разработанной модели требуется проведение следующих мероприятий:

1. Согласно существующей и исследуемой методикам на примере СПРВ по вероятностным отборам провести распределение потоков. Определить расходы воды по участкам и располагаемые напоры воды в узлах.

2. Провести сопоставление значений параметров, полученных в результате расчета по разным методикам. Сделать вывод о справедливости использования разработанной математической модели для описания вероятностных процессов, происходящих в СПРВ.

Предположим, отбор воды одним узлом-потребителем имеет распределение, представленное на рис. 2.

В данном случае количество интервалов *int* при распределении отбора воды одного узла – 6.

Систему, состоящую из двух узлов с одинаковыми отборами и их вероятностным распределением, можно представить на рис. 3.

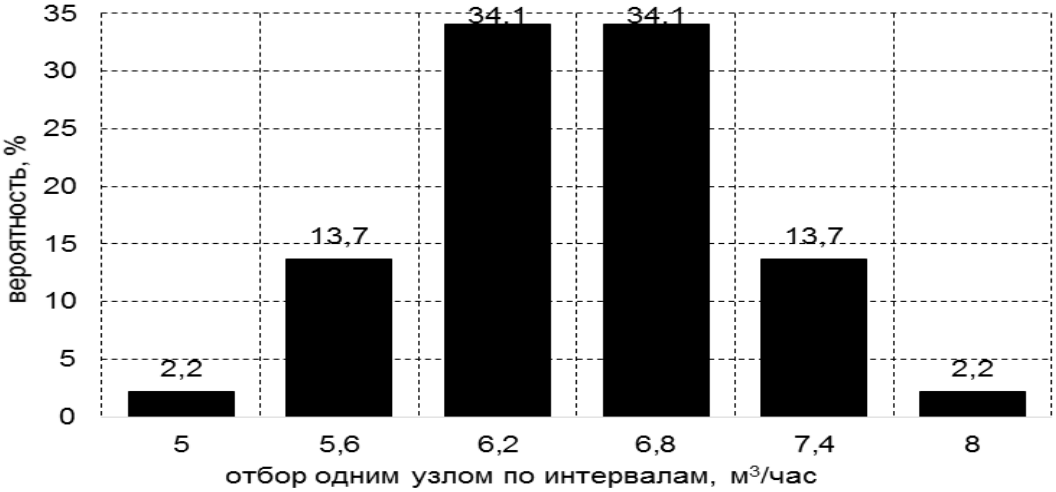


Рис. 2. Гистограмма распределения вероятности отбора воды одним узлом
Fig. 2. Histogram of the probability distribution of water withdrawal by one node

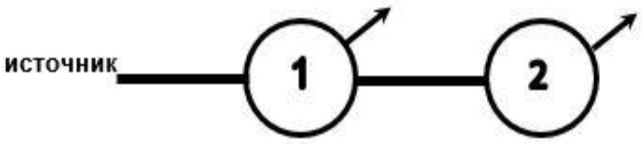


Рис. 3. Схема системы подачи и распределения воды из двух узлов
Fig. 3. Scheme of a water supply and distribution system from two nodes

Отбор воды такой системой равен сумме отборов отдельных узлов $Q_{СПРВ} = Q_1 + Q_2$ с учетом их совместных вероятностных составляющих $P_1 \cdot P_2$, иначе говоря:

$$Q_{спрв} = \sum_{j=1}^{2} Q_{j,\text{int}} \cdot \prod_{j=1}^{2} P_{j,\text{int}},$$

где *j* – номер узла, *int* – номер интервала.

Для представленной выше схемы образуются комбинации, приведенные в табл. 1.

Количество комбинаций *k* определяется по формуле:

$$k = n^m,$$

где *n* – количество интервалов; *m* – количество узлов.

В данном случае $k = 6^2 = 36$.

После суммирования отборов воды отдельных узлов по вышеуказанным комбинациям интервалов и определения вероятности совместного наступления этих комбинаций было образовано распределение отборов воды системой. Итог представлен в табл. 2.

Таблица 1. Комбинации отборов воды из системы, состоящей из двух узлов
Table 1. Combinations of water withdrawals from a system consisting of two units

Комбинации по интервалам	Отборы по интервалам, $м^3$/час	Вероятность распределения
1. $(Q_{1,1}+ Q_{2,1}) \cdot P_{1,1} \cdot P_{2,1}$	5,0 + 5,0 = 10,0	0,022 · 0,022 = 0,000484
2. $(Q_{1,1}+ Q_{2,2}) \cdot P_{1,1} \cdot P_{2,2}$	5,0 + 5,6 = 10,6	0,022 · 0,137 = 0,003014
3. $(Q_{1,1}+ Q_{2,3}) \cdot P_{1,1} \cdot P_{2,3}$	5,0 + 6,2 = 11,2	0,022 · 0,341 = 0,007502
4. $(Q_{1,1}+ Q_{2,4}) \cdot P_{1,1} \cdot P_{2,4}$	5,0 + 6,8 = 11,8	0,022 · 0,341 = 0,007502
5. $(Q_{1,1}+ Q_{2,5}) \cdot P_{1,1} \cdot P_{2,5}$	5,0 + 7,4=12,4	0,022 · 0,137 = 0,003014
6. $(Q_{1,1}+ Q_{2,6}) \cdot P_{1,1} \cdot P_{2,6}$	5,0 + 8,0 = 13,0	0,022 · 0,022 = 0,000484
7. $(Q_{1,2}+ Q_{2,1}) \cdot P_{1,2} \cdot P_{2,1}$	5,6 + 5,0 = 10,6	0,137 · 0,022 = 0,003014
8. $(Q_{1,2}+ Q_{2,2}) \cdot P_{1,2} \cdot P_{2,2}$	5,6 + 5,6 = 11,2	0,137 · 0,137 = 0,018769
9. $(Q_{1,2}+ Q_{2,3}) \cdot P_{1,2} \cdot P_{2,3}$	5,6 + 6,3 = 11,8	0,137 · 0,341 = 0,046717
10. $(Q_{1,2}+ Q_{2,4}) \cdot P_{1,2} \cdot P_{2,4}$	5,6 + 6,8 = 12,4	0,137 · 0,341 = 0,046717
11. $(Q_{1,2}+ Q_{2,5}) \cdot P_{1,2} \cdot P_{2,5}$	5,6 + 7,4 = 13,0	0,137 · 0,137 = 0,018769
12. $(Q_{1,2}+ Q_{2,6}) \cdot P_{1,2} \cdot P_{2,6}$	5,6 + 8,0 = 13,6	0,137 · 0,022 = 0,003014
13. $(Q_{1,3}+ Q_{2,1}) \cdot P_{1,3} \cdot P_{2,1}$	6,2 + 5,0 = 11,2	0,341 · 0,022 = 0,007502
14. $(Q_{1,3}+ Q_{2,2}) \cdot P_{1,3} \cdot P_{2,2}$	6,2 + 5,6 = 11,8	0,341 · 0,137 = 0,046717
15. $(Q_{1,3}+ Q_{2,3}) \cdot P_{1,3} \cdot P_{2,3}$	6,2 + 6,2 = 12,4	0,341 · 0,341 = 0,116281
16. $(Q_{1,3}+ Q_{2,4}) \cdot P_{1,3} \cdot P_{2,4}$	6,2 + 6,8 = 13,0	0,341 · 0,341 = 0,116281
17. $(Q_{1,3}+ Q_{2,5}) \cdot P_{1,3} \cdot P_{2,5}$	6,2 + 7,4 = 13,6	0,341 · 0,137 = 0,046717
18. $(Q_{1,3}+ Q_{2,6}) \cdot P_{1,3} \cdot P_{2,6}$	6,2 + 8,0 = 14,2	0,341 · 0,022 = 0,007502
19. $(Q_{1,4}+ Q_{2,1}) \cdot P_{1,4} \cdot P_{2,1}$	6,8 + 5,0 = 11,8	0,341 · 0,022 = 0,007502
20. $(Q_{1,4}+ Q_{2,2}) \cdot P_{1,4} \cdot P_{2,2}$	6,8 + 5,6 = 14,4	0,341 · 0,137 = 0,046717
21. $(Q_{1,4}+ Q_{2,3}) \cdot P_{1,4} \cdot P_{2,3}$	6,8 + 6,2 = 13,0	0,341 · 0,341 = 0,116281
22. $(Q_{1,4}+ Q_{2,4}) \cdot P_{1,4} \cdot P_{2,4}$	6,8 + 6,8 = 13,6	0,341 · 0,341 = 0,116281
23. $(Q_{1,4}+ Q_{2,5}) \cdot P_{1,4} \cdot P_{2,5}$	6,8 + 7,4 = 14,2	0,341 · 0,137 = 0,046717
24. $(Q_{1,4}+ Q_{2,6}) \cdot P_{1,4} \cdot P_{2,6}$	6,8 + 8,0 = 14,8	0,341 · 0,022 = 0,007502
25. $(Q_{1,5}+ Q_{2,1}) \cdot P_{1,5} \cdot P_{2,1}$	7,4 + 5,0 = 12,4	0,137 · 0,022 = 0,003014
26. $(Q_{1,5}+ Q_{2,2}) \cdot P_{1,5} \cdot P_{2,2}$	7,4 + 5,6 = 13,0	0,137 · 0,137 = 0,018769
27. $(Q_{1,5}+ Q_{2,3}) \cdot P_{1,5} \cdot P_{2,3}$	7,4 + 6,2 = 13,6	0,137 · 0,341=0,046717
28. $(Q_{1,5}+ Q_{2,4}) \cdot P_{1,5} \cdot P_{2,4}$	7,4 + 6,8 = 14,2	0,137 · 0,341=0,046717
29. $(Q_{1,5}+ Q_{2,5}) \cdot P_{1,5} \cdot P_{2,5}$	7,4 + 7,4 = 14,8	0,137 · 0,137=0,018769
30. $(Q_{1,5}+ Q_{2,6}) \cdot P_{1,5} \cdot P_{2,6}$	7,4 + 8,0 = 15,4	0,137 · 0,022=0,003014
31. $(Q_{1,6}+ Q_{2,1}) \cdot P_{1,6} \cdot P_{2,1}$	8,0 + 5,0 = 13,0	0,022 · 0,022=0,000484
32. $(Q_{1,6}+ Q_{2,2}) \cdot P_{1,6} \cdot P_{2,2}$	8,0 + 5,6 = 13,6	0,022 · 0,137=0,003014
33. $(Q_{1,6}+ Q_{2,3}) \cdot P_{1,6} \cdot P_{2,3}$	8,0 + 6,2 = 14,2	0,022 · 0,341=0,007502
34. $(Q_{1,6}+ Q_{2,4}) \cdot P_{1,6} \cdot P_{2,4}$	8,0 + 6,8 = 14,8	0,022 · 0,341=0,007502
35. $(Q_{1,6}+ Q_{2,5}) \cdot P_{1,6} \cdot P_{2,5}$	8,0 + 7,4 = 15,4	0,022 · 0,137=0,003014
36. $(Q_{1,6}+ Q_{2,6}) \cdot P_{1,6} \cdot P_{2,6}$	8,0 + 8,0 = 16,0	0,022 · 0,022=0,000484
Всего	–	*1,000000*

Таблица 2. Распределение вероятности интервалов совместных отборов воды двумя узлами
Table 2. Probability distribution of intervals of joint water withdrawals by two nodes

Комбинации	Отбор, $м^3$/час	Вероятность распределения
$(Q_{1,1}+ Q_{2,1}) \cdot P_{1,1} \cdot P_{2,1}$	10	0,000484
$(Q_{1,1} + Q_{2,2}) \cdot P_{1,1} \cdot P_{2,2} + Q_{1,2} + Q_{2,1}) \cdot P_{1,2} \cdot P_{2,1}$	10,6	0,006028
$(Q_{1,1} + Q_{2,3}) \cdot P_{1,1} \cdot P_{2,3} + (Q_{1,2} + Q_{2,2}) \cdot P_{1,2} \cdot P_{2,2} + (Q_{1,3} + Q_{2,1}) \cdot \cdot P_{1,3} \cdot P_{2,1}$	11,2	0,033773
$(Q_{1,1}+ Q_{2,4}) \cdot P_{1,1} \cdot P_{2,4} + (Q_{1,2} + Q_{2,3}) \cdot P_{1,2} \cdot P_{2,3} + (Q_{1,3}+ Q_{2,2}) \cdot \cdot P_{1,3} \cdot P_{2,2} + (Q_{1,4} + Q_{2,1}) \cdot P_{1,4} \cdot P_{2,1}$	11,8	0,108438
$(Q_{1,1} + Q_{2,5}) \cdot P_{1,1} \cdot P_{2,5} + (Q_{1,2} + Q_{2,4}) \cdot P_{1,2} \cdot P_{2,4} + (Q_{1,3} + Q_{2,3}) \cdot \cdot P_{1,3} \cdot P_{2,3} + (Q_{1,4} + Q_{2,2}) \cdot P_{1,4} \cdot P_{2,2} + (Q_{1,5} + Q_{2,1}) \cdot P_{1,5} \cdot P_{2,1}$	12,4	0,215743

Окончание таблицы 2

Комбинации	Отбор, м^3/час	Вероятность распределения
$(Q_{1,1}+ Q_{2,6}) \cdot P_{1,1} \cdot P_{2,6} + (Q_{1,2} + Q_{2,5}) \cdot P_{1,2} \cdot P_{2,5} + (Q_{1,3}+ Q_{2,4}) \cdot \cdot P_{1,3} \cdot P_{2,4} + (Q_{1,4} + Q_{2,3}) \cdot P_{1,4} \cdot P_{2,3} + (Q_{1,4} + Q_{2,2}) \cdot P_{1,4} \cdot P_{2,2} + + (Q_{1,6} + Q_{2,1}) \cdot P_{1,6} \cdot P_{2,1}$	13	0,271743
$(Q_{1,2} + Q_{2,6}) \cdot P_{1,2} \cdot P_{2,6} + (Q_{1,3} + Q_{2,5}) \cdot P_{1,3} \cdot P_{2,5} + (Q_{1,4} + Q_{2,4}) \cdot \cdot P_{1,4} \cdot P_{2,4} + (Q_{1,5} + Q_{2,3}) \cdot P_{1,5} \cdot P_{2,3} + (Q_{1,6} + Q_{2,2}) \cdot P_{1,6} \cdot P_{2,2}$	13,6	0,215743
$(Q_{1,3}+ Q_{2,6}) \cdot P_{1,3} \cdot P_{2,6} + (Q_{1,4} + Q_{2,5}) \cdot P_{1,4} \cdot P_{2,5} + (Q_{1,5} + Q_{2,4}) \cdot \cdot P_{1,5} \cdot P_{2,4} + (Q_{1,6} + Q_{2,3}) \cdot P_{1,6} \cdot P_{2,3}$	14,2	0,108438
$(Q_{1,4}+ Q_{2,6}) \cdot P_{1,4} \cdot P_{2,6} + (Q_{1,5} + Q_{2,5}) \cdot P_{1,5} \cdot P_{2,5} + (Q_{1,6} + Q_{2,4}) \cdot \cdot P_{1,6} \cdot P_{2,4}$	14,8	0,033773
$(Q_{1,5} + Q_{2,6}) \cdot P_{1,5} \cdot P_{2,6} + (Q_{1,6} + Q_{2,5}) \cdot P_{1,6} \cdot P_{2,5}$	15,4	0,006028
$(Q_{1,6} + Q_{2,6}) \cdot P_{1,6} \cdot P_{2,6}$	16	0,000484
Всего	–	*1,000000*

Вариант распределения отборов воды двумя узлами в графическом виде представлен на рис. 4.

Аналогичным способом можно составить комбинации для любого количества узлов *m* (табл. 3). Численность комбинаций в данном случае при количестве интервалов $n = 6$ составит $k = 6^m$.

Рис. 4. Гистограмма распределения вероятности отбора воды двумя узлами (по методу комбинаций)
Fig. 4. Histogram of the distribution of the probability of water withdrawal by two nodes (according to the method of combinations)

Таблица 3. Изменение числа возможных комбинаций *k* отборов воды в зависимости от количества узлов *m*
Table 3. Change in the number of possible combinations *k* of water withdrawals depending on the number of nodes *m*

Количество узлов *m*	1	2	3	4	5	6	7	8
Количество комбинаций *k*	6	36	216	1296	7776	46656	279936	1679616

Отбор воды из СПРВ, состоящей из *m* количества узлов, в общем виде можно представить следующим образом:

$$Q_{спрв} = \sum_{j=1}^{m} Q_{j,\text{int}} \cdot \prod_{j=1}^{m} P_{j,\text{int}} ,$$

где *j* – номер узла; *m* – количество узлов; *int* – номер интервала.

Увеличение количества узлов приводит к росту числа комбинаций отборов из СПРВ в геометрической прогрессии, что составляет сложность для дальнейшего использования указанного метода.

В противовес методике комбинаций рассмотрим альтернативную методику. Принят такой же состав узлов (1 и 2), их отборов (схемы на рис. 3), но распределение от-

боров воды узлами определяется по методике использования *α*-сечений. Для точности дальнейших расчетов проведена разбивка изначального отбора одним узлом на 18 интервалов (19 сечений). Результат представлен на рис. 5.

Производится сложение отборов отдельных узлов по принятым 18 интервалам (19 сечениям). Результат представлен на рис. 6.

Рис. 5. Гистограмма распределения вероятности отбора воды одним узлом (по методике *α*-сечений)
Fig. 5. Histogram of the distribution of the probability of water withdrawal by one node (according to the method of *α*-sections)

Рис. 6. Гистограмма распределения вероятности отбора воды двумя узлами (по методике *α*-сечений)
Fig. 6. Histogram of the distribution of the probability of water withdrawal by two nodes (according to the method of *α*-sections)

Количество рассматриваемых интервалов, как и при любом количестве узлов, не меняется, также составляет 18 (19 сечений).

Распределение потоков производится по отборам узлов в соответствии с их номерами сечений.

Результаты и их обсуждение

Сопоставим между собой расчетные параметры, полученные по разным методикам.

Составлен пример: система, изображенная на рис. 7, состоит из четырех узлов с одинаковыми отборами и вероятностями распределения этих отборов, представленными на рис. 2, 5. Материал труб – сталь.

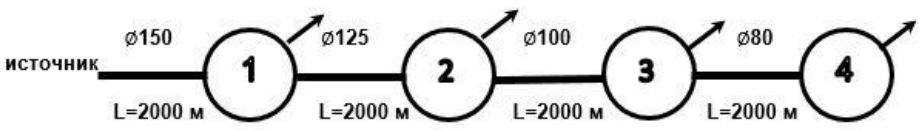


Рис. 7. Схема системы подачи и распределения воды из четырех узлов
Fig. 7. Diagram of a four-node water supply and distribution system

По разным методикам проведено распределение потоков по отборам воды, с учетом вероятности потребления воды определены расчетные параметры, проведено их сопоставление. Результаты представлены графически на рис. 8–10.

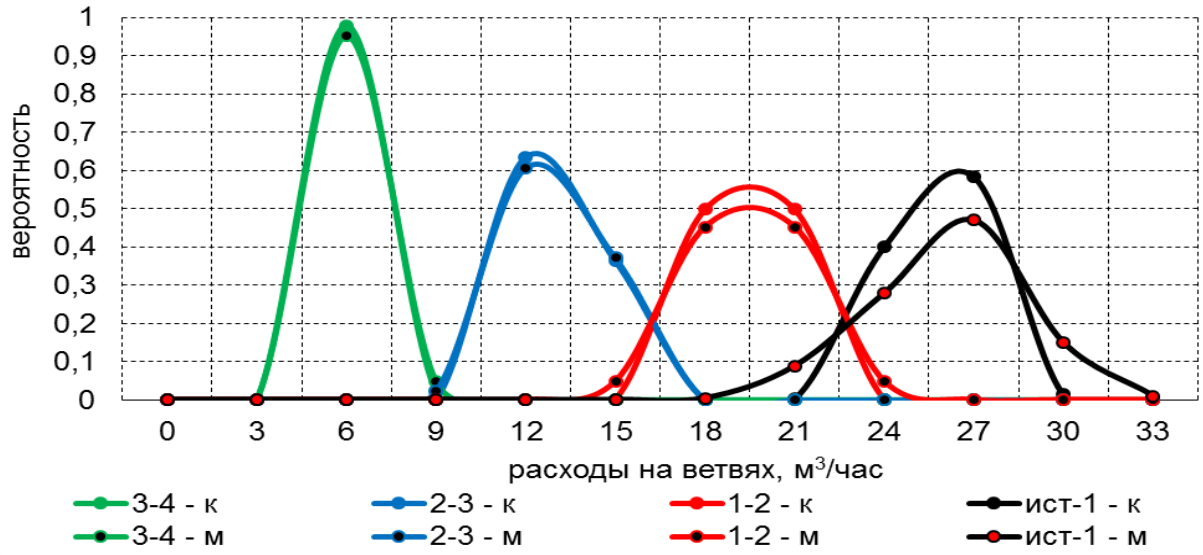
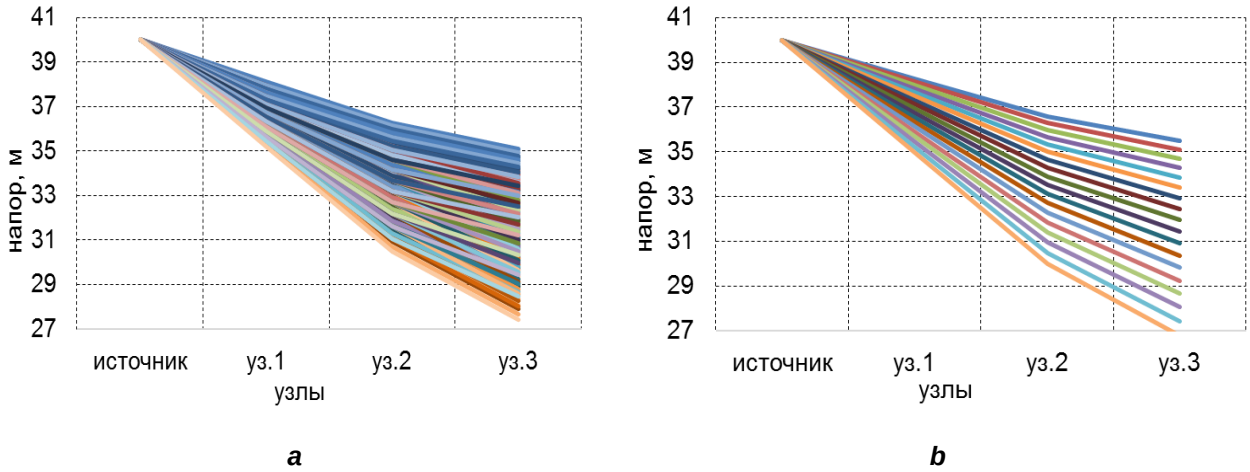


Рис. 8. Распределение вероятности отбора воды узлами (сопоставление методов)
Fig. 8. Probability distribution of water withdrawal by nodes (comparison of methods)



a ***b***

Рис. 9. Распределение напора воды в узлах: *a* – по методу комбинаций; *b* – по методу *α*-сечений
Fig. 9. Distribution of water pressure in the nodes: *a* – by the method of combinations; *b* – by the method of *α*-sections

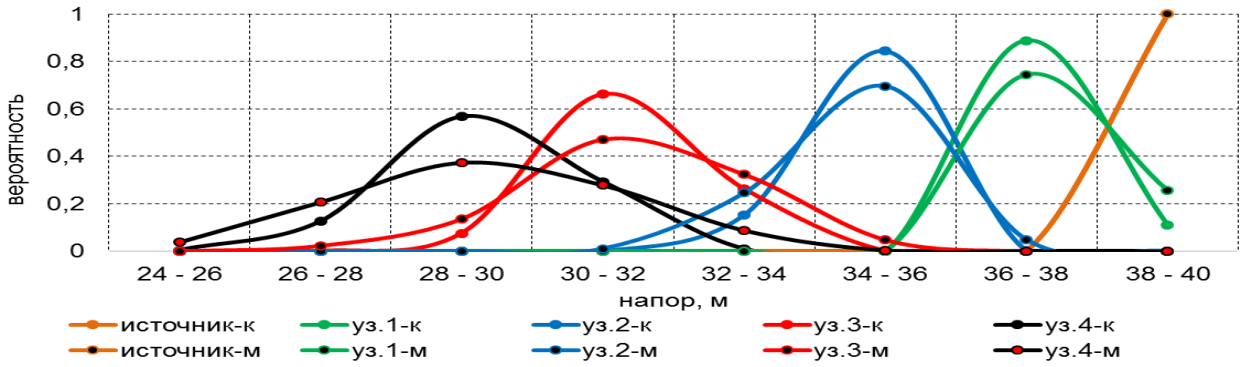


Рис. 10. Распределение вероятности напора воды в узлах (сопоставление методов)
Fig. 10. Probability distribution of water pressure in nodes (comparison of methods)

Кривые изменения параметров по методике комбинаций на рисунках обозначены с префиксом «-к», кривые изменения параметров по методике сечений – с префиксом «-м».

На полученных графиках можно видеть, что расхождения значений расчетных параметров и вероятности их наступления, определенных по разным методикам, не существенны. Это обстоятельство позволяет сделать вывод о справедливости использования методики *α*-сечений для вероятностного моделирования работы СПРВ. Метод сечений более прост, требует меньше труда и времени, позволяет, в отличие от других методов, определять с учетом вероятностной составляющей пониженные аварийные нормы отборов воды потребителями, использовать их при формировании вероятностных показателей надежности. Для дополнительного подтверждения справедливости использования методики *α*-сечений при моделировании вероятностного распределения потоков сформируем диапазон изменений вероятностного коридора отборов воды из СПРВ в зависимости от численности потребителей. Согласно правилу 3 сигм[3] практически все значения отборов лежат в интервале: $[\overline{Q}-3\sigma_Q;\overline{Q}+3\sigma_Q]$, где $б_Q$ – среднеквадратическое отклонение.

Нижний предел – $\overline{Q}_t^{[min]}-3\cdot\sqrt{\overline{Q}_t^{[min]}\cdot q_{0,hr}}$, верхний предел – $\overline{Q}_t^{[max]}+3\cdot\sqrt{\overline{Q}_t^{[max]}\cdot q_{0,hr}}$, где $q_{0,hr}$ – расход воды одним прибором, м^3/час.

Границы коридора по часам максимального и минимального потребления в зависимости от численности населения представлены на рис. 11.

Исходя из рис. 11, можно считать, что при увеличении численности потребителей потоки воды на магистральных участках становятся непрерывными, сплошными, диапазоны изменения вероятностного коридора отборов воды из СПРВ приобретают линейную зависимость.

Зависимость неравномерности отбора воды из СПРВ от численности потребителей представлена на рис. 12.

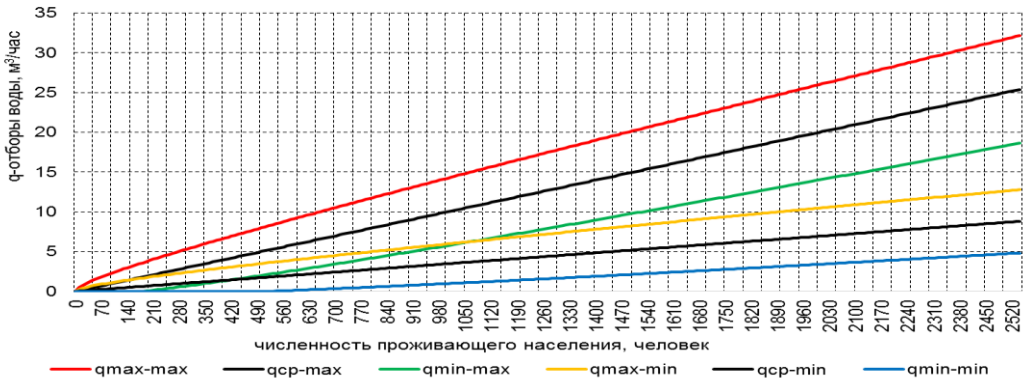


Рис. 11. Зависимость отборов воды в вероятностном коридоре от численности населения, м^3/час
Fig. 11. Dependence of water withdrawals in the probability corridor on the population size, m^3/h

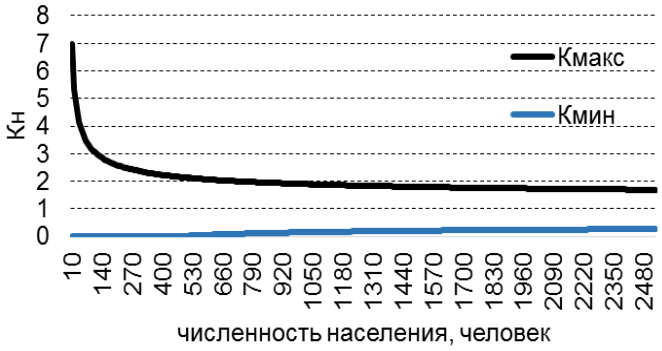


Рис. 12. Зависимость значений $K_н$ от численности потребителей
Fig. 12. Dependence of K_n values on the number of consumers

[3]Венцель Е. С. Теория вероятностей: учебник. М.: Высш. шк., 2001. 575 с.;
Пугачев В. С. Теория вероятностей и математическая статистика: учебник. М.: Наука, 1979. 496 с.;
Кремер Н. Ш. Теория вероятностей и математическая статистика: учебник для вузов. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2004. 573 с.

Неравномерность отборов воды при большой численности потребителей практически не меняется.

$$K_{н,\max} = \frac{\overline{Q}_t^{[\max]} + 3\cdot\sqrt{\overline{Q}_t^{[\max]}\cdot q_{0,hr}}}{Q_{средн}^{час}} = \frac{\overline{Q}_t^{[\max]}}{Q_{средн}^{час}} + \frac{3\cdot\sqrt{\overline{Q}_t^{[\max]}\cdot q_{0,hr}}}{Q_{средн}^{час}} = \frac{U\cdot q_{hr,u,t}^{[\max]}}{U\cdot q_{hr,u,t}^{[средн]}} + \frac{3\cdot\sqrt{q_{hr,u,t}^{[\max]}\cdot q_{0,hr}}}{q_{hr,u,t}^{[средн]}}\cdot\frac{\sqrt{U}}{U};$$

$$K_{н,\min} = \frac{\overline{Q}_t^{[\min]} - 3\cdot\sqrt{\overline{Q}_t^{[\min]}\cdot q_{0,hr}}}{Q_{средн}^{час}} = \frac{\overline{Q}_t^{[\min]}}{Q_{средн}^{час}} - \frac{3\cdot\sqrt{\overline{Q}_t^{[\min]}\cdot q_{0,hr}}}{Q_{средн}^{час}} = \frac{U\cdot q_{hr,u,t}^{[\min]}}{U\cdot q_{hr,u,t}^{[средн]}} - \frac{3\cdot\sqrt{q_{hr,u,t}^{[\min]}\cdot q_{0,hr}}}{q_{hr,u,t}^{[средн]}}\cdot\frac{\sqrt{U}}{U},$$

где $\overline{Q}_t^{[\max]}$; $\overline{Q}_t^{[\min]}$ – математическое ожидание отборов воды в час максимального и минимального потребления, м^3/час; $Q_{средн}^{час}$ – среднечасовой отбор воды, м^3/час; $q_{hr,u,t}$ – параметр отбора одним потребителем по часу t, м^3/час; U – численность потребителей, человек.

$$\frac{\overline{Q}_t^{[\max]}}{Q_{средн}^{час}} = const. \quad \frac{\overline{Q}_t^{[\min]}}{Q_{средн}^{час}} = const.$$

Отношения математических ожиданий часовых отборов воды к среднечасовому значению отборов не зависят от численности потребителей, их можно расценивать как постоянные (рис. 13).

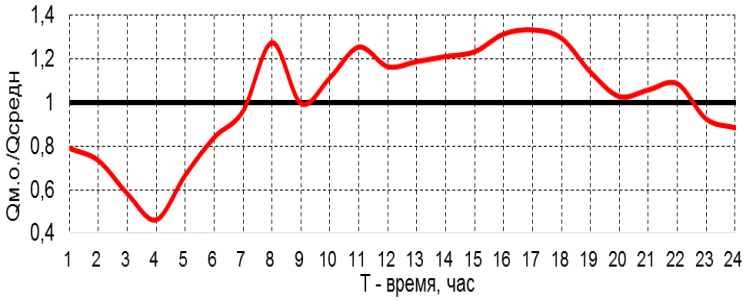


Рис. 13. Отношения математических ожиданий часовых отборов воды к среднему значению
Fig. 13. The ratio of mathematical expectations of hourly water sampling to the average value

При $U\to\infty$, $\frac{\sqrt{U}}{U}\to 0$ диапазон отклонений отборов от математических ожиданий отборов принимает линейную зависимость от численности потребителей. В таком случае описание по каждому часу t процесса вероятностного распределения потоков X по ветвям i системой уравнений, представляющих собой законы Кирхгофа, с использованием сечений α_s [0,…,18] выглядит приемлемо.

Заключение

Соответствие между собой полученных по разным методикам результатов параметров, представленные доказательства линейности изменений вероятностного коридора отборов воды в зависимости от численности потребителей позволяют сделать вывод о справедливости использования ранее разработанной математической модели вероятностных отборов и распределения потоков по α-сечениям для описания процессов функционирования СПРВ. Модели могут быть использованы при разработке методики по оценке надежности систем подачи и распределения воды.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Соболь И. М. Численные методы Монте-Карло. М.: Наука, 1973. 311 с.
2. Карамбиров С. Н. Математическое моделирование систем подачи и распределения воды в условиях многорежимности и неопределенности: монография. М.: МГУП, 2004. 196 с.
3. Карамбиров С. Н., Бекишева Л. Б. О некоторых статистических закономерностях водопотребления в системах водоснабжения // Природообустройство. 2012. № 4. С. 45–48.
4. Карамбиров С. Н., Буркова Ю. Г. Анализ и синтез сложных инженерных систем с применением современных математических методов: монография. М.: РГАУ-МСХА, 2016. 193 с.
5. Карамбиров С. Н., Мордясов М. А., Буркова Ю. Г. Применение кластерного анализа и нейронных сетей для анализа качества функ-

ционирования инженерных сетей в штатных и послеаварийных условиях // Природообустройство. 2014. № 3. С. 63–66.
6. Шопенский Л. А., Юрьева И. П. Построение расчетных графиков водопотребления // Водоснабжение и санитарная техника. 1985. № 11. С. 25–27.
7. Шопенский Л. А. Аналитическое описание режимов водопотребления и построения расчетных графиков // Сб. научных трудов. Вып. I. М.: ОНТИ ЦНИИЭП инженерного оборудования, 1975.
8. Евдокимов А. Г., Дубровский В. В., Тевяшев А. Д. Потокораспределение в инженерных сетях. М.: Стройиздат, 1979. 200 с.
9. Чупин Р. В., Мелехов Е. С. Развитие теории и практики моделирования и оптимизации систем водоснабжения и водоотведения: монография. Иркутск: ИрГТУ, 2011. 323 с.
10. 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.
11. 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.
12. Чупин В. Р., Душин А. С., Чупин Р. В. Моделирование процессов водопотребления и возникновения аварийных ситуаций в системах подачи и распределения воды // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2012. № 10 (69). С. 130–136.
13. Чупин Р. В., Майзель И. В., Душин А. С., Чупин В. Р. Нормирование расчетных удельных значений потребления воды и сброса стоков // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2015. № 4 (15). С. 171–191.
14. Абрамов Н. Н. Надежность систем водоснабжения. М.: Стройиздат, 1979. 232 с.
15. Чупин Р. В., Душин А. С. Оценка надежности обеспечения потребителей водой // Водоснабжение и санитарная техника. 2017. № 12. С. 35–44.
16. 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. С. 578–593. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-3-578-593.
17. 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.
18. 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.

REFERENCES

1. Sobol' IM. Numerical Monte Carlo Methods. Moscow: Nauka; 1973. 311 p. (In Russ.).
2. Karambirov SN. Mathematical modeling of water supply and distribution systems under conditions of multi-mode and uncertainty. Moscow: MSUPA; 2004. 197 p. (In Russ.).
3. Karambirov SN, Bekisheva LB. About some statistical regularities of water consumption in water supply systems. *Prirodoobustroistvo*. 2012;4:45-48. (In Russ.).
4. Karambirov SN, Burkova YuG. Analysis and synthesis of complex engineering systems using modern mathematical methods. Moscow: RGAU-MSKhA; 2015. 193 p. (In Russ.).
5. Karambirov SN, Mordyasov MA, Burkova YuG. 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.).
6. Shopenskii LA, Yur'eva IP. Construction of calculated water consumption schedules. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water supply and sanitary technique*. 1985;11:25-27. (In Russ.).
7. Shopenskii LA. Analytical description of water consumption modes and construction of calculated graphs. *Sb. nauchnykh trudov*. Vol. 1. Moscow: ONTI TsNIIEP inzhenernogo oborudovaniya; 1975. (In Russ.).
8. Evdokimov AG, Dubrovskii VV, Tevyashev AD. Flow distribution in engineering networks. Moscow: Stroiizdat; 1979. 200 p. (In Russ.).
9. Chupin RV, Melekhov ES. Development of the theory and practice of modeling and optimization of water supply and sanitation systems. Irkutsk: ISTU; 2011. 323 p. (In Russ.).

10. Chupin VR, Malevskaya MB. Development of recommendations for minimizing the consequences of emergencies in water supply systems. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water supply and sanitary technique*. 1994;4:8-9. (In Russ.).
11. Dushin AS, Chupin RV, Maizel' IV. 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(3):76-83. (In Russ.).
12. Chupin VR, Dushin AS, Chupin RV. Modeling water consumption and emergencies in water supply and distribution systems. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2012;10(69):130-136. (In Russ.).
13. Chupin RV, Maizel' IV, Dushin AS, Chupin VR. Calculation rating of specific values of water consumption and effluent discharge. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2015;4(15):171-191. (In Russ.).
14. Abramov NN. Reliability of water supply systems. Moscow: Stroiizdat; 1979. 232 p. (In Russ.).
15. Chupin RV, Dushin AS. Assessment of the customer water supply reliability. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water supply and sanitary technique*. 2017;12:35-44. (In Russ.).
16. Chupin VR, Dushin AS. Assessment of the reliability of water supply to consumers: water supply reliability indicators. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'*. 2019;9(3): 578-593. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-3-578-593.
17. Chupin VR, Dushin AS. 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.
18. Chupin VR, Dushin AS. 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. Investitsii. 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.

Информация об авторе

А. С. Душин,
инженер-строитель,
ООО «Сетевая компания “ИРКУТ”»,
664020, г. Иркутск, ул. Авиастроителей, 28А, Россия,
https://orcid.org/0000-0001-7307-5167

Information about the author

Aleksei S. Dushin,
Civil Engineer,
LLC Network company “IRKUT”,
28A Aviastroiteley St., Irkutsk 664020, Russia,
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.

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.

Статья поступила в редакцию 07.02.2022.
Одобрена после рецензирования 03.03.2022.
Принята к публикации 04.03.2022.

The article was submitted 07.02.2022.
Approved after reviewing 03.03.2022.
Accepted for publication 04.03.2022.

Научная статья
УДК 628.35.001.24
https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-52-61

Судебная строительно-техническая экспертиза линейных объектов

© Евгений Геннадьевич Журавлев[1], Михаил Петрович Михалев[2], Александр Евгеньевич Журавлев[3]
[1]Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия
[2]ООО «Абсолют», г. Иркутск, Россия
[3]ООО «СВ-Студия», г. Иркутск, Россия
Автор, ответственный за переписку: Михалев Михаил Петрович, mikhalev-81@list.ru

Аннотация. Целью работы является анализ судебной строительно-технической экспертизы линейных объектов. Разобраны вопросы, связанные с инженерными сетями, основные характеристики линейных объектов и их назначение. Каждая строительно-техническая экспертиза проводится в определенных условиях и локациях, с учетом требований норм гражданского процессуального законодательства. На основании определения суда эксперт самостоятельно проводит полное исследование материалов и документов, содержащихся в материалах дела, дает обоснованные и объективные ответы на поставленные перед ним вопросы, оформляет заключение в письменном виде. Рассмотрена судебная практика в отношении инженерных сетей, относящихся к линейным объектам капитального строительства либо к объектам вспомогательного назначения. Сделаны выводы о том, что движимость или недвижимость объекта играет важную роль в определении действий по отношению к нему. Существует перечень характеристик для определения данного признака, что влияет на дальнейшую деятельность по отношению к линейному объекту. Выявлено, что инженерные сети относятся к объектам недвижимого имущества, если являются законченными линейными объектами, имеют самостоятельное функциональное (хозяйственное) назначение, их строительство предусматривается проектной документацией и осуществляется на основании согласованной в установленном порядке разрешительной документации. Приведенные в статье критерии линейного объекта как недвижимого имущества и как объекта вспомогательного назначения рекомендовано использовать при проведении строительно-технической экспертизы линейных объектов.

Ключевые слова: линейный объект, движимое и недвижимое имущество, прочная связь с землей, недвижимость, строительно-техническая экспертиза, сети, регистрация, самостоятельное назначение, сложная вещь, вспомогательное назначение

Для цитирования: Журавлев Е. Г., Михалев М. П., Журавлев А. Е. Судебная строительно-техническая экспертиза линейных объектов // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 1. С. 52–61. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-52-61.

Original article

Forensic construction and technical audit of infrastructural facilities

Evgenii G. Zhuravlev[1], Mikhail P. Mikhalev[2], Aleksandr E. Zhuravlev[3]
[1]Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia
[2]Absolut LLC, Irkutsk, Russia
[3]SV-Studiya LLC, Irkutsk, Russia
Corresponding author: Mikhail P. Mikhalev, mikhalev-81@list.ru

Abstract. The article considers the forensic construction and technical audit of infrastructural facilities. Issues related to utilities, as well as the main characteristics of infrastructural facilities and their purpose, are analysed. Each construction and technical audit procedure is carried out in certain conditions and locations, taking the regulations of the civil procedural legislation into account. Based on the court ruling, the expert independently conducts a full survey of the case materials and documents,

gives reasonable and objective answers to the set questions, and draws up a conclusion in written form. Cases of utilities related both to infrastructural capital construction and auxiliary facilities are considered. It is concluded that the movable or immovable property of the facility plays an important role in determining respective actions. Using the list of characteristics for determining this property, further activities in relation to the infrastructural facility can be affected. Representing the finished infrastructural facility, the utility networks relate to real estate objects, thus having independent functional (economic) purpose. Their construction is provided for by the design documentation and performed on the basis of properly approved regulatory documents. The provided criteria for considering the infrastructural facility both in terms of a real estate object and an auxiliary facility are recommended for application in the construction and technical audit of infrastructural facilities.

Keywords: linear object, movable and immovable property, strong connection with the land, real estate, construction and technical expertise, networks, registration, self-appointment, complex thing, auxiliary purpose

For citation: Zhuravlev E. G., Mikhalev M. P., Zhuravlev A. E. Forensic construction and technical audit of infrastructural facilities. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(1):52-61. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-52-61.

Введение

Судебная строительно-техническая экспертиза (ССТЭ) относится к роду судебных инженерно-технических экспертиз, играет важную, а зачастую и определяющую роль в уголовном, гражданском и арбитражном судопроизводстве. Обусловлено это отсутствием у судей специальных знаний в области архитектуры и строительства, что не позволяет объективно оценить ситуацию и вынести справедливое и юридически обоснованное решение при рассмотрении гражданских и уголовных дел. Судебная строительно-техническая экспертиза назначается судом и проводится экспертами по определению суда, в котором перед экспертом ставятся вопросы, определяются сроки и стоимость экспертизы. Порядок назначения экспертиз регламентируется нормами уголовного, гражданского или арбитражного процессуального законодательства. На основании определения суда эксперт проводит полное исследование представленных материалов и документов, объектов экспертизы, на основании анализа данных дает обоснованные и объективные ответы на поставленные перед ним вопросы, оформляет заключение в письменном виде.

В судах часто рассматривают вопросы, связанные с инженерными сетями:

– являются ли они линейными объектами;

– относится ли конкретный линейный объект к движимому или недвижимому имуществу;

– возможно ли внесение объекта в единый государственный реестр недвижимости (ЕГРН);

– существует ли у объекта самостоятельное функциональное назначение или он представляет собой вспомогательный объект.

Анализ линейных объектов

Термин «линейный объект» активно используется в технической литературе и документации, встречается в современном судопроизводстве и в законодательной базе РФ. Несмотря на это, полноценное и исчерпывающее определение термина «линейный объект», так же как и подробный перечень линейных объектов, в законодательстве отсутствует.

В нормативно-правовых актах перечисляются только отдельные типы линейных объектов:

– в соответствии с п. 10.1 ст. 1 Градостроительного кодекса Российской Федерации (ГрК РФ) к линейным объектам относятся линии электропередачи, линии связи (в том числе линейно-кабельные сооружения), трубопроводы, автомобильные дороги, железнодорожные линии и другие протяженные сооружения;

– в пп. 5 п. 3 ст. 11, ст. 51.2 Водного кодекса РФ к числу линейных объектов отнесены также мосты, подводные и подземные переходы, трубопроводы, подводные линии связи;

– согласно п. 1 ст. 11 Федерального закона РФ от 21.07.2005 № 115-ФЗ «О концессионных соглашениях» к линейным объектам относятся подводные и подземные

переходы, трубопроводы, подводные линии связи;

– в силу пп. 10 п. 1 ст. 7 Федерального закона РФ от 13.07.2015 № 224-ФЗ «О государственно-частном партнерстве, муниципально-частном партнерстве в Российской Федерации…» линейными объектами являются подводные и подземные технические сооружения, переходы, сооружения связи, линии связи и коммуникации;

– пп. 6 п. 1 ст. 7 Федерального закона РФ от 21.12.2004 № 172-ФЗ «О переводе земель или земельных участков из одной категории в другую» относит к линейным объектам дороги, линии электропередачи, линии связи (в том числе линейно-кабельные сооружения), нефтепроводы, газопроводы и иные трубопроводы, железнодорожные линии и другие протяженные сооружения.

Попытки дать полноценное определение термина «линейный объект» пока предпринимаются только в юридической и научной литературе. Большинство авторов выделяют следующие признаки линейного объекта:

– он имеет значительную протяженность: его длина многократно превышает ширину;

– не может быть зданием, а только сооружением;

– обладает неразрывными связями с земельным участком;

– имеет самостоятельное функциональное (хозяйственное) назначение;

– в состав линейного объекта могут входить иные сооружения (объекты), связанные с ним общим функциональным (хозяйственным) назначением.

Совокупности приведенных признаков соответствуют следующие линейные объекты:

– линии связи (в том числе линейно-кабельные сооружения);

– надземные или подземные трубопроводы горячего и холодного водоснабжения;

– газопроводы и нефтепроводы;

– надземные или подземные линии электропередачи;

– автомобильные дороги;

– железнодорожные линии;

– мосты;

– подводные и подземные переходы.

В соответствии со статьей 51 ГрК РФ необходимо разрешение на строительство линейных объектов капитального строительства, а после завершения работ – разрешение на ввод объекта в эксплуатацию (ст. 55 ГрК РФ). Следовательно, обозначенные выше линейные объекты капитального строительства являются недвижимым имуществом, подлежат государственной регистрации с внесением в Единый государственный реестр недвижимости. Однако не каждый линейный объект (например, газопровод и кабель) может быть признан объектом недвижимости.

При установлении типа и состава недвижимого имущества в отношении зданий и сооружений (в том числе и линейных объектов) следует руководствоваться положениями Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» от 30.12.2009 № 384-ФЗ:

– сеть инженерно-технического обеспечения – совокупность трубопроводов, коммуникаций и других сооружений, предназначенных для инженерно-технического обеспечения зданий и сооружений (п. 20 части 2 ст. 2 Федерального закона N 384-ФЗ);

– система инженерно-технического обеспечения – одна из систем здания или сооружения, предназначенная для выполнения функций водоснабжения, канализации, отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха, газоснабжения, электроснабжения, связи, информатизации, диспетчеризации, мусороудаления, вертикального транспорта (лифты, эскалаторы) или функций обеспечения безопасности (п. 21 части 2 ст. 2 Федерального закона N 384-ФЗ);

– строительная конструкция – часть здания или сооружения, выполняющая определенные несущие, ограждающие и (или) эстетические функции (п. 24 части 2 ст. 2 Федерального закона N 384-ФЗ).

Под сложным объектом недвижимого имущества (единым недвижимым комплексом) следует понимать сложный функциональный объект капитального строительства, включающий в себя собственно здание (сооружение) в совокупности с сетями инженерно-технического обеспечения, функционально связанными с ним так, что их перемещение без причинения несоразмерного ущерба назначению объекта недвижимого имущества невозможно[1] [1].

[1]О применении льготы по налогу на имущество организаций в отношении технологического оборудования: Письмо Департамента налоговой и таможенной политики Минфина России от 24 августа 2017 г. N 03-05-05-01/54266.

Линейные объекты, не имеющие самостоятельного функционального (хозяйственного) назначения, к объектам недвижимости не относятся, входят в состав единого недвижимого комплекса, в котором по отношению к основному зданию (сооружению) выполняют вспомогательную или обслуживающую функцию.

В ряде нормативно-правовых актов инженерные сети непосредственно отнесены к линейным объектам. Так, в Постановлении Правительства РФ от 12.11.2020 № 1816 к линейным объектам причислены надземные и подземные электрические сети, надземные и подземные трубопроводы сетей тепло-, газо-, водоснабжения и водоотведения[2].

Согласно позиции Минрегиона России, инженерно-технические сети, обеспечивающие два и более объекта капитального строительства, рассматриваются как отдельный (самостоятельный) линейный объект.

К таким объектам можно отнести, например, квартальный газопровод, трубопроводы холодного и горячего водоснабжения, водоотведения, линейно-кабельные сооружения электроснабжения всех способов прокладки и другие.

Из анализа судебной практики можно выделить следующие признаки, позволяющие отнести сеть инженерно-технического обеспечения к линейным объектам капитального строительства:

– она имеет значительную протяженность;

– проложена на земельном участке вне здания;

– проложена на территории нескольких земельных участков;

– обеспечивает более двух объектов капитального строительства (здание, сооружение);

– имеет самостоятельную функцию.

Если рассматриваемая сеть инженерно-технического обеспечения представляет собой самостоятельное, с точки зрения выполняемых функций, сооружение, имеющее прочные связи с земельным участком, перемещение которого без утраты целостности и причинения несоразмерного ущерба назначению невозможно, то она может быть признана линейным объектом капитального строительства и, следовательно, недвижимым имуществом, право собственности на которое подлежит государственной регистрации [2, 3].

В соответствии с п. 2 ст. 130 Гражданского кодекса Российской Федерации (ГК РФ) регистрация прав на движимые вещи не требуется, кроме особых случаев, предусмотренных законом.

В то же время на основании положений п. 1 ст. 131 ГК РФ право собственности на недвижимое имущество подлежит государственной регистрации.

В связи с этим, ключевым вопросом при оценке необходимости (возможности) государственной регистрации права собственности на линейные объекты является определение категории объекта: является ли рассматриваемая инженерная сеть движимым или недвижимым имуществом.

Гражданско-правовые акты РФ не содержат полного перечня объектов, относящихся к недвижимому имуществу.

Согласно ст. 130 ГК РФ к недвижимости относятся земельные участки, участки недр и все, что прочно связано с землей, то есть объекты, перемещение которых без несоразмерного ущерба их назначению невозможно, в том числе здания, сооружения, объекты незавершенного строительства.

К недвижимым вещам относятся также подлежащие государственной регистрации воздушные и морские суда, суда внутреннего плавания, космические объекты. Законом к недвижимым вещам может быть отнесено и иное имущество.

Вопрос о принадлежности того или иного линейного объекта к категории движимого или недвижимого имущества решается индивидуально, исходя из фактических технических и локационных характеристик, оценки возможности перемещения объекта без не-

[2]Об утверждении перечня случаев, при которых для строительства, реконструкции линейного объекта не требуется подготовка документации по планировке территории, перечня случаев, при которых для строительства, реконструкции объекта капитального строительства не требуется получение разрешения на строительство, внесении изменений в перечень видов объектов, размещение которых может осуществляться на землях или земельных участках, находящихся в государственной или муниципальной собственности, без предоставления земельных участков и установления сервитутов, и о признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации: Постановление Правительства РФ от 12 ноября 2020 г. N 1816.

соразмерного ущерба целостности и назначению [4].

Ответ на вопрос о том, является ли конкретный линейный объект недвижимым имуществом, неоднозначен, зачастую решается только в судебном порядке, как правило, на основании судебной строительно-технической экспертизы.

При этом наличие прочных (неразрывных) связей с земельным участком и невозможность перемещения рассматриваемого линейного объекта без несоразмерного ущерба его целостности и назначению – это только одна группа признаков, на основании которых определяется принадлежность объекта к категории движимого или недвижимого имущества (Постановление Президиума Высшего Арбитражного Суда Российской Федерации от 16.12.2008 N 9626/08) [5].

Вещь является недвижимой либо в силу своих природных свойств, либо в силу прямого указания федерального закона, что такой объект подчинен режиму недвижимых вещей (абзацы 1 и 2 п. 1 ст. 130 Гражданского кодекса Российской Федерации).

Наличие государственной регистрации права собственности не является единственным и обязательным условием при рассмотрении вопроса (в судебном порядке или вне судебного порядка) для признания линейного объекта недвижимым имуществом (Определения Судебной коллегии по экономическим спорам ВС РФ от 30.09.2015 N 303-ЭС15-5520, от 07.04.2016 по делу N 310-ЭС15-16638).

Правовая позиция Президиума Высшего Арбитражного Суда Российской Федерации выражена в Постановлении от 24.09.2013 N 1160/13 и по отношению к линейным объектам имеет следующее толкование: линейные объекты (инженерно-технические сети), не имеющие самостоятельного хозяйственного назначения и выполняющие лишь вспомогательную или обслуживающую функцию по отношению к зданиям (сооружениям), расположенным на том же земельном участке, не могут быть признаны линейным объектом недвижимости, независимо от их физических и технических характеристик, наличия прочной связи с земельным участком.

Термин «здание или сооружение вспомогательного назначения» в российском законодательстве фигурирует в п. 3 ч. 17 ст. 51 Градостроительного кодекса РФ, в которой указано, что выдача разрешения на строительство зданий и сооружений вспомогательного назначения не требуется.

В соответствии с положениями ст. 55 Градостроительного кодекса РФ для объектов вспомогательного назначения не предусмотрена процедура получения разрешения на ввод в эксплуатацию.

При этом полноценного определения термина «здания и сооружения вспомогательного назначения» в нормативно-правовых документах федерального или регионального уровня нет.

В отсутствие исчерпывающего определения рассматриваемого термина, а также смыслового понятия собственно «вспомогательного использования», можно говорить лишь об его оценочной трактовке.

Например, вспомогательное назначение по отношению к производственному зданию могут иметь многие объекты, начиная от котельной, трансформаторной подстанции, пункта пропуска, грузовой платформы и заканчивая линейными объектами, предназначенными для обеспечения эксплуатации основного объекта: сети и сооружения инженерно-технического обеспечения, эстакады, дорожные сооружения и прочие [6–8].

Таким образом, вопрос о принадлежности линейного объекта к категории движимого или недвижимого имущества может быть разрешен гражданским или арбитражным судом на основании анализа его технических параметров и с учетом наличия или отсутствия самостоятельного функционального назначения [9, 10].

При этом должен быть четко определен и основной объект, по отношению к которому рассматриваемый линейный объект является вспомогательным.

С 01.01.2017 года государственная регистрация прав на недвижимое имущество осуществляется на основании требований и положений, установленных Федеральным законом от 13.07.2015 N 218-ФЗ «О государственной регистрации недвижимости», который разработан и введен взамен ранее действовавшего Федерального закона N 122-ФЗ «О государственной регистрации прав на недвижимое имущество и сделок с ним».

В Постановлении Арбитражного суда Волго-Вятского округа от 07.04.2016 N Ф01-832/2016 по делу N А28-4886/2015 сеть инженерно-технического обеспечения многоквартирного жилого дома признана

движимым объектом в связи с отсутствием доказательств, свидетельствующих о создании спорного линейного объекта именно как объекта недвижимости, имеющего самостоятельное функциональное назначение.

При этом рассматриваемая сеть инженерно-технического обеспечения отнесена к категории объектов вспомогательного назначения, обеспечивающих благоустройство жилого дома.

В Письме ФНС России от 20.04.2020 N БС-4-21/6581@ «О предоставлении информации по запросу» (вместе с Приложением «Информация о правоприменительной практике, касающейся квалификации недвижимого имущества, в т.ч. в целях исчисления налога на имущество организаций») [11] рассмотрена судебная практика по вопросам квалификации недвижимого имущества. В отношении сетей инженерно-технического обеспечения сделаны следующие выводы, основанные на анализе судебной практики:

1. Основные средства, входящие в состав тепловой электростанции (система электроснабжения тепловой электростанции, внутренняя и наружная сети водоотведения бытовых сточных вод, ливневая канализация, канализационно-насосная станция (КНС), наружные сети холодного водоснабжения, очистные сооружения, градирни и др.), не имеют самостоятельного функционального назначения, являются составной частью тепловой станции и относятся к сложной вещи (Постановление Арбитражного суда Волго-Вятского округа от 04.04.2019 по делу N А29-4430/2018).

2. Из Определения ВС РФ от 12.07.2019 N 307-ЭС19-5241 по делу N А05-879/2018: отдельные линейные объекты инженерно-технического обеспечения признаются неотъемлемой частью зданий, которые имеют категорию сложной вещи, и включаются в их состав. Например, вспомогательное назначение имеют внутренние инженерные системы зданий (трубопроводы систем холодного и горячего водоснабжения, водоотведения, вентиляции, сети и устройства электроснабжения), необходимые для жизнеобеспечения здания.

3. Суды при рассмотрении вопросов о причислении линейных объектов к недвижимому имуществу ссылаются также на Письмо Минрегиона РФ от 25.06.2009 № 19669-ИП/08 «О проведении государственной экспертизы проектной документации отдельных объектов капитального строительства», в котором раскрываются особенности выполнения (в том числе перечень и состав разделов) проектной документации в зависимости от локации инженерной сети газопровода.

В данном письме отмечено, что, например, в состав магистральной газовой сети не включаются участки вводов в здания, являющиеся ответвлениями с отделенными отключающими устройствами. Вводы являются неотъемлемой частью зданий, которые рассматриваются как сложные вещи.

Линейные объекты капитального строительства, имеющие самостоятельное функциональное назначение, относятся к объектам недвижимости, проектируются по индивидуальным проектам, требуют получения разрешения на строительство и ввод в эксплуатацию.

Постановлением Правительства РФ от 16.02.2008 N 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» регламентирован состав проектной документации для объектов капитального строительства: как производственного и непроизводственного назначения, так и отдельно для линейных объектов.

Если же линейный объект не имеет самостоятельного функционального назначения, является вспомогательным по отношению к объекту капитального строительства (зданию или сооружению), то он и проектируется только в виде отдельного раздела проектной документации основного объекта.

Например, если сети газопровода низкого и среднего давления входят в состав газовой котельной, которая является сложным объектом недвижимости, то такие сети не имеют самостоятельного функционального назначения и не являются отдельным объектом недвижимости (Постановление ФАС Центрального округа от 24.09.2012 по делу № А68-10863/11, Северо-Кавказского округа от 06.06.2014 по делу № А53-23882/2013). Разделы проекта на сети низкого и среднего давления входят в состав проекта газовой котельной.

Магистральные электрические сети, обеспечивающие электроснабжение отдельных районов или населенных пунктов, возведенные по специально разработанным проектам и вводимые в эксплуатацию в соответствии со статьей 55 Градостроительного кодекса РФ, имеют самостоятельное

функциональное значение и относятся к объектам недвижимости. Кабельные линии, обеспечивающие электроснабжение отдельных объектов или комплексов (в пределах земельного участка), проектная документация на которые в виде отдельного раздела входит в состав проекта объекта капитального строительства и которые сдаются в эксплуатацию вместе с этим объектом, самостоятельного функционального значения не имеют и к самостоятельным объектами недвижимости не относятся.

Из анализа состава проектной документации можно сделать выводы, что линейные объекты капитального строительства: линии электропередачи всех способов прокладки, линии связи (в том числе линейно-кабельные сооружения), надземные и подземные трубопроводы, автомобильные дороги, железнодорожные линии и иные подобные сооружения – имеют самостоятельное функциональное (хозяйственное) назначение и относятся к объектам недвижимости, а сети инженерно-технического обеспечения в границах земельного участка самостоятельного функционального значения не имеют и к самостоятельным объектами недвижимости не относятся.

При рассмотрении вопроса о признании, например, газопровода объектом недвижимости немаловажное значение имеет его хозяйственное назначение.

Если газопровод не имеет самостоятельного функционального (хозяйственного) назначения и не является отдельным объектом гражданского оборота, выполняя лишь обслуживающую (вспомогательную) функцию по отношению к земельному участку и находящемуся на нем зданию (сооружению), то у него отсутствуют качества самостоятельного объекта недвижимости.

В связи с этим право собственности на него не подлежит государственной регистрации независимо от его физических характеристик и наличия признаков прочной и(или) неразрывной связи с земельным участком (Постановление АС Центрального округа от 22.09.2014 по делу № А08-6739/2013).

Как следует из практики ВАС РФ, линейные объекты (например, надземные или подземные трубопроводы), являющиеся вспомогательными по отношению к основному объекту, расположенному на том же земельном участке, не являются объектами недвижимости (Определение ВАС РФ от 03.10.2012 № ВАС-12467/12).

Справедлива также и следующая позиция: если линейный объект не является частью здания или сооружения (как сложного объекта), имеет самостоятельное хозяйственное назначение, то такой линейный объект можно считать самостоятельным объектом недвижимости.

Заключение

В рамках данной статьи рассмотрена судебная практика, касающаяся инженерных сетей. Выявлено, являются ли они линейными объектами, а также движимым или недвижимым имуществом.

По представлениям Департамента недвижимости, линейные объекты, введенные в эксплуатацию как объекты капитального строительства в соответствии со статьей 55 Градостроительного кодекса РФ, в большинстве случаев признаются объектами недвижимости. Линейные объекты, не вводимые в эксплуатацию в указанном порядке, скорее всего не являются недвижимостью.

При проведении строительно-технической экспертизы линейных объектов можно рекомендовать ориентироваться на следующие характеристики.

Признаки линейного объекта недвижимости:

– инженерная сеть проложена на земельном участке вне здания;

– сеть проложена на территории нескольких земельных участков;

– инженерная сеть обеспечивает более двух объектов капитального строительства (здание, сооружение), расположенных на разных земельных участках;

– линейный объект (сеть) имеет самостоятельную функцию;

– линейный объект возведен по специально разработанному проекту, введен в эксплуатацию как объект капитального строительства в соответствии с положениями Градостроительного кодекса РФ.

Признаки линейного объекта вспомогательного назначения (может быть признан объектом недвижимости в составе единого недвижимого комплекса[3]):

[3]О государственной регистрации недвижимости: Федеральный закон от 13.07.2015 N 218-ФЗ // Информационно-правовое обеспечение «Гарант». URL: https://base.garant.ru/71129192 (03.12.2021).

– инженерная сеть проложена на земельном участке вне здания;

– инженерная сеть обеспечивает один или более объектов капитального строительства (здание, сооружение), расположенных на одном земельном участке;

– линейный объект (сеть) не имеет самостоятельной функции: не может быть использован в отрыве от зданий и(или) сооружений, расположенных на одном с ним земельном участке;

– линейный объект возведен по проекту, разработанному в виде раздела в составе проекта объекта капитального строительства (здания или сооружения) и сдается в эксплуатацию вместе с этим объектом.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Рахвалова Д. О. К вопросу о соотношении единого недвижимого комплекса и сложной вещи // Вестник Кемеровского государственного университета. Серия: Гуманитарные и общественные науки. 2018. № 2. С. 99–102. 10.21603/2542-1840-2018-2-99-102.
2. Вижевитова Т. А. Правовые проблемы, связанные с оформлением прав на земельные участки для строительства линейных объектов // Правовые вопросы недвижимости. 2009. № 2. С. 2–5.
3. Бочаров М. Оформление прав на землю под линейными объектами // ЭЖ-Юрист. 2005. № 45. С. 4–5.
4. Шеметова Н. Ю. Отнесение имущества к недвижимому в российском праве: критерии и свойства недвижимости // Научный ежегодник Института философии и права Уральского отделения Российской академии наук. 2014. Т. 14. № 4. С. 127–143.
5. Алексеев В. А. Прочная связь с землей как единственный признак недвижимой вещи // Вестник экономического правосудия Российской Федерации. 2017. № 12. С. 80–94.
6. Верле Е., Долгов А. Правовая квалификация объектов вспомогательного использования // Корпоративный юрист. 2013. №7. С. 23–27.
7. Монгущ Ч. Б., Ховалыг А. Р. Проблемы правовой квалификации объектов недвижимости вспомогательного назначения // Вестник Тувинского государственного университета. Социальные и гуманитарные науки. 2016. № 1 (28). 2016. С. 104–108.
8. Черная А. А. Линейные объекты: проблемы соотношения с объектами вспомогательного назначения // Terra Economicus. 2011. Т. 9. № 2-2. С. 80–82.
9. Суханов Е. А. О понятии недвижимости и его влиянии на иные гражданско-правовые категории // Вестник гражданского права. 2008. № 4. С. 6–16.
10. Артельных И. В. Критерии, по которым суды оценивают, является объект движимым имуществом или относится к недвижимости // Российский налоговый курьер. 2013. № 5. С. 41.
11. Волобоев М. Налог на имущество с движимых и недвижимых объектов // Вести Гаранта. 2015. № 9. С. 7

REFERENCES

1. Rakhvalova DO. Single real estate complex vs. Complex thing. *Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Gumanitarnye i obshchestvennye nauki*. 2018;2:99-102. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2542-1840-2018-2-99-102.
2. Vizhevitova TA. Legal problems related to registration of rights to land plots for the construction of linear facilities. *Pravovye voprosy nedvizhimosti*. 2009;2:2-5. (In Russ.).
3. Bocharov M. Registration of land rights under linear objects. *EZh-Yurist*. 2005;45:4-5. (In Russ.).
4. Shemetova NY. Attributing property to the immovable one in the Russian law: criteria and features of real estate. *Nauchnyi ezhegodnik Instituta filosofii i prava Ural'skogo otdeleniya Rossiiskoi akademii nauk*. 2014;14(4):127-143. (In Russ.).
5. Alexeev VA. Continuous connection to land as the single characteristic of real estate. *Vestnik ekonomicheskogo pravosudiya Rossiiskoi Federatsii*. 2017;12:80-94. (In Russ.).
6. Verle E., Dolgov A. Legal qualification of objects of auxiliary use. *Korporativnyi yurist*. 2013;7:23-27. (In Russ.).
7. Mongush Ch, Khovalyg A-S. Legal issues classification of real estate auxiliary facilities.

Vestnik Tuvinskogo gosudarstvennogo universiteta. Sotsial'nye i gumanitarnye nauki. 2016;1(28):104-108. (In Russ.).
8. Chernaya AA. Linear objects: the problem of correlation with the objects of the auxiliary destination. *Terra Economicus*. 2011;9(2-2):80-82. (In Russ.).
9. Sukhanov EA. On the concept of real estate and its impact on other civil law categories. *Vestnik grazhdanskogo prava*. 2008;4:6-16. (In Russ.).
10. Artel'nykh IV. Criteria by which courts evaluate whether an object is movable property or refers to real estate. *Rossiiskii nalogovyi kur'er*. 2013;5:41. (In Russ.).
11. Voloboev M. Property tax on movable and immovable objects. *Vesti Garanta*. 2015;9:7. (In Russ.).

Информация об авторах

Е. Г. Журавлев,
кандидат технических наук,
доцент кафедры экспертизы и управления недвижимостью,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: expertiza@istu.edu
https://orcid.org/ 0000-0001-5912-9659

М. П. Михалев,
начальник производства,
ООО «Абсолют»,
664009, г. Иркутск, ул. 1-я Советская, 109/1, Россия,
e-mail: mikhalev-81@list.ru
https://orcid.org/ 0000-0002-8071-0795

А. Е. Журавлев,
инженер,
ООО «СВ-Студия»,
664009, г. Иркутск, ул. 1-я Советская 176Б, Россия,
e-mail: poplavok38rus@gmail.com
https://orcid.org/ 0000-0002-6660-1541

Information about the authors

Evgenii G. Zhuravlev,
Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Real Estate Expertise and Management,
Irkutsk State Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,
e-mail: expertiza@istu.edu,
https://orcid.org/ 0000-0001-5912-9659

Mikhail P. Mikhalev,
Head of Production,
Absolut LLC,
109/1 1-ya Sovetskaya St., Irkutsk, 664009, Russia,
e-mail: mikhalev-81@list.ru
https://orcid.org/ 0000-0002-8071-0795

Aleksandr E. Zhuravlev,
Engineer,
SV-Studiya LLC,
176B 1-ya Sovetskaya St., Irkutsk, 664009, Russia,
e-mail: poplavok38rus@gmail.com
https://orcid.org/ 0000-0002-6660-1541

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.

Статья поступила в редакцию 31.01.2022.
Одобрена после рецензирования 24.02.2022.
Принята к публикации 25.02.2022.

The article was submitted 31.01.2022.
Approved after reviewing 24.02.2022.
Accepted for publication 25.02.2022.

Научная статья
УДК 628.24
https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-62-69

Снижение экологических рисков при реализации мероприятий по реконструкции системы водоотведения на территории центральной экологической зоны оз. Байкал

© Ольга Леонидовна Лавыгина[1], Оксана Александровна Гребнева[1,2], Александр Владимирович Алексеев[2]
[1]Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия
[2]Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, г. Иркутск, Россия
Автор, ответственный за переписку: Лавыгина Ольга Леонидовна, olgakot81@mail.ru

Аннотация. Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью снижения экологических рисков при эксплуатации коммунальных систем на Байкальской природной территории. Одним из основных факторов, позволяющих реализовать снижение наносимого ущерба при эксплуатации систем водоотведения, является минимизация риска возникновения аварийных ситуаций с залповым сбросом сточных вод. Целью данной работы является оценка возможного экологического ущерба при наступлении аварийных ситуаций на коллекторах системы водоотведения в связи с высокой степенью их износа и недостаточной пропускной способностью. В работе произведен расчет предотвращенного экологического ущерба при реконструкции коллекторов системы водоотведения на территории г. Иркутска. В проведенных численных исследованиях приняты технические показатели действующих коллекторов, учтена их пропускная способность, а также природно-климатические факторы Байкальской природной территории. Результаты расчета показали, что суммарный показатель предотвращенного эколого-экономического ущерба при реконструкции коллекторов системы водоотведения составит 273,24337 тыс. руб. (в ценах на 2022 г.). Реконструкция коллекторов на территории г. Иркутска приведет к снижению объемов сбросов загрязненных сточных вод в водные объекты Байкальской природной территории.

Ключевые слова: жилищно-коммунальное хозяйство, реконструкция системы водоотведения, экологический риск, Байкальская природная территория

Благодарности: Исследования выполнены в рамках государственного задания № FWEU-2021-0002 (Рег. № АААА-А21-121012090012-1) Программы фундаментальных исследований РФ на 2021–2025 годы.

Для цитирования: Лавыгина О. Л., Гребнева О. А., Алексеев А. В. Снижение экологических рисков при реализации мероприятий по реконструкции системы водоотведения на территории центральной экологической зоны оз. Байкал // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 1. С. 62–69. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-62-69.

Original article

Environmental risk prevention during the reconstruction of the sewerage system in the Lake Baikal central ecological zone

Olga L. Lavygina[1], Oksana A. Grebneva[1,2], Aleksander V. Alekseev[2]
[1]Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia
[2]Energy Systems Institute SB RAS, Irkutsk, Russia
Corresponding author: Olga L. Lavygina, olgakot81@mail.ru

Abstract. Reduction of environmental risks involved with the operation of public utilities in the Baikal natural territory presents a relevant research task. The safety operation of sewerage systems can be ensured by minimising the risk of emergencies related to the volley of sewage. In this study, we assess the rate of possible environmental damage from emergencies in sewerage systems as a result of their

high wear and insufficient capacity. We provide a calculation of the prevented environmental damage during the reconstruction of the sewerage system in the territory of Irkutsk. In the conducted numerical investigations, technical indices of the operating sewers are accepted taking into account their capacity and natural-climatic factors of the Baikal natural territory. According to the results obtained, the total indicator of the prevented environmental and economic damage during the reconstruction of the sewerage system comprises 273.24337 thousand roubles (in prices for 2022). The reconstruction of sewers in the territory of Irkutsk will lead to a decrease in the volume of sewage discharges into the water bodies of the Baikal natural territory.

Keywords: housing and communal services, environmental technology, protection of atmospheric air, Baikal natural territory pellets, emissions

Acknowledgments: The research was carried out within the framework of the state task No. FWEU-2021-0002 (Reg. No. AAAA-A21-121012090012-1) of the Basic Research Program of the Russian Federation for 2021-2025.

For citation: Lavygina O. L., Grebneva O. A., Alekseev A. V. Environmental risk prevention during the reconstruction of the sewerage system in the Lake Baikal central ecological zone. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(1):62-69. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-62-69.

Введение

В настоящее время учет экологического фактора является обязательным при разработке проектов и программ модернизации объектов в городском строительстве и хозяйстве, неотъемлемой частью которых являются и системы водоотведения [1–9].

В рамках целевой программы «Чистая вода» разработана Схема водоснабжения и водоотведения г. Иркутска до 2025 года[1], которая предусматривает как новое строительство, так и реконструкцию уже имеющихся объектов санитарной очистки города.

Приоритетной задачей реконструкции системы водоотведения является не только решение социальных задач в виде бесперебойной работы систем водоотведения, но и снижение экономических потерь, связанных с экологическими рисками. Котловина озера Байкал и прилегающие к нему территории представляют собой уникальную экологическую систему, озеро Байкал является природным объектом всемирного наследия ЮНЕСКО[2], что обусловливает необходимость полного предотвращения риска возникновения аварийных ситуаций в системах жизнеобеспечения. Программой по реконструкции системы водоотведения предусматриваются такие виды работ, как строительство напорных трубопроводов, самотечных коллекторов, разгрузочных коллекторов, реконструкция канализационно-очистных станций (КОС) и т.д.

Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью оценки предотвращенного экологического ущерба при наступлении аварийных ситуаций на коллекторах системы водоотведения в связи с высокой степенью их износа и недостаточной пропускной способностью.

В контексте данной работы наступающие при возникновении аварии экологические риски рассмотрены в качестве предотвращенного эколого-экономического ущерба.

Объектом исследования в данной статье являются предлагаемые к реконструкции коллекторы системы отведения стоков на территории г. Иркутска. При анализе пропускной способности существующей сети водоотведения на территории города выявлены коллекторы, в которых наполнение превышает допустимое значение, и коллекторы, в которых скорости движения стоков превышают максимально допустимое значение. Аварийные ситуации, которые могут возникать на данных объектах, неизбежно приводят к поступлению загрязненных стоков в окружающую среду. Существенный износ коллекторов и недостаточная их пропускная способность являются факторами риска возникновения аварийной ситуации, последствия ко-

[1]Об утверждении Схем водоснабжения и во-доотведения г. Иркутска на 2015, 2020 и 2025 годы: Постановление администрации города Иркутска от 12 марта 2014 г. N 031-06-249/14.
[2]5 декабря – день включения оз. Байкал в список всемирного наследия ЮНЕСКО // Росприроднадзор. URL: https://rpn.gov.ru/regions/38/news/5_dekabrya_den_vklyucheniya_oz_baykal_v_spisok_vsemirnogo_naslediya_yunesko-64440.html (01.02.2022).

торой нанесут экологический ущерб окружающей среде.

Исходные положения, постановка задачи исследования и методика решения

Ключевым аспектом, обусловливающим степень загрязнения окружающей среды, является качественный и количественный состав отводимых сточных вод. При этом размер экологического ущерба оценивается по методике, рекомендованной Министерством природных ресурсов РФ[3].

Масса загрязняющих веществ в составе сточных вод, поступивших на территорию водосборной площади за время аварийной ситуации, определяется по формуле:

$$M = Q \cdot (C_{фi} - C_{дi}) \cdot T \cdot 10^{-6}, \quad (1)$$

где *i* – загрязняющее вещество, в отношении которого осуществляется расчет экологического ущерба (взвешенные вещества, показатель биохимического потребления кислорода (БПК), нефтепродукты, цинк, медь, синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ), железо, алюминий, аммоний); *Q* – расход сточных вод, содержащих *i*-е загрязняющие вещества; $C_{фi}$ – средняя фактическая концентрация *i*-го загрязняющего вещества в сточных водах за определенный временной промежуток *T*; $C_{дi}$ – допустимая концентрация *i*-го загрязняющего вещества.

Расход сточных вод для рассматриваемых участков системы водоотведения:

$$Q = Q_{поп} + Q_{бок} + Q_{тр} + Q_{соср}, \quad (2)$$

где $Q_{пол}$ – попутный расход жидкости, которая поступает с площади стока на расчетный участок сети водоотведения; $Q_{тр}$ – транзитный расход жидкости, которая поступает на расчетный участок сети водоотведения с вышерасположенного участка, ориентированного в том же направлении, что и расчетный; $Q_{бок}$ – боковой расход жидкости, которая поступает на расчетный участок с вышерасположенного под углом к расчетному; $Q_{соср}$ – сосредоточенный расход от производственного или коммунального предприятия, поступающий в начальную точку расчетного участка сети.

Исчисление размера вреда, причиненного водному объекту сбросом вредных (загрязняющих) веществ в составе сточных вод, осуществляется по формуле:

$$У = K_{вг} \cdot K_{в} \cdot K_{ин} \cdot \sum_{i=1}^{n} H_i \cdot M_i \cdot K_{из}, \quad (3)$$

где $У$ – размер экологического ущерба в денежном эквиваленте, тыс. руб.; $K_{вг}$ – коэффициент, позволяющий учесть природно-климатические условия; $K_{в}$ – коэффициент, позволяющий учесть экологическое состояние водного объекта; $K_{ин}$ – коэффициент индексации, позволяющий учесть уровень инфляции на определенный временной промежуток; H_i – такса для определения размера вреда от сброса *i*-го загрязняющего вещества в конкретный водный объект, тыс. руб./т; M_i – масса сброшенного *i*-го загрязняющего вещества, определяется для каждого загрязняющего вещества как разница между его фактическим и нормативным содержанием[4], т; $K_{из}$ – коэффициент, позволяющий учесть интенсивность негативного воздействия вредных веществ на водный объект.

При расчете размера ущерба по формуле (3) принимались следующие значения:

– $K_{вг} = 1{,}15$ (принят для зимнего времени);

– $K_{в} = 1{,}36$ (принят для бассейна р. Енисей);

– $K_{ин} = 2{,}94$ (определен в соответствии с разъяснениями Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации[5] по состоянию на 2022 г.);

– $K_{из} = 1$ (принят при превышениях до 10 раз).

Результаты и их обсуждение

В данной работе проведен анализ возможных последствий аварий на системах водоотведения с целью определения возможного экологического ущерба на территории г. Иркутска. При этом учтены все коллекторы (рис. 1), подлежащие реконструкции в рамках реализации новой схемы водоснабжения и водоотведения[6].

Перечень реконструируемых коллекторов при реализации схемы водоотведения Иркутского района включает 35 объектов в Октябрьском, Правобережном, Свердловском и Ленин-

---

[3]Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства: Приказ Минприроды России от 13 апреля 2009 г. N 87 (с изм. и доп.).

[4]Об утверждении нормативов состава сточных вод на территории города Иркутска и отмене Постановления администрации города Иркутска от 11 декабря 2018 года N 031-06-1111/8: Постановление администрации города Иркутска от 30 октября 2020 года N 031-06-676/0.

[5]О коэффициенте $К_{ин}$ при расчете размера вреда: Письмо Федеральной службы по надзору в сфере природопользования от 25 января 2019 года N РН-03-02-31/2865.

[6]Об утверждении Схем водоснабжения и водоотведения г. Иркутска на 2015, 2020 и 2025 годы: Постановление администрации города Иркутска от 12 марта 2014 г. N 031-06-249/14.

ском районах: в Октябрьском районе – 9 коллекторов (по ул. 1-я Красноказачья, Лыткина, Байкальская, Пискунова, Красных Мадьяр, Аэрофлотская, Трилиссера); в Правобережном – 10 коллекторов (по ул. Лызина, 1-я Красноказачья, Ямская, Франк-Каменецкого, Фридриха Энгельса, Нижняя Набережная, Наполь-ная, Каховского); в Свердловском – 11 коллекторов (в м-не Юбилейный, по ул. Геологов, Старокузьмихинская, Баженова, Боткина, Ломоносова, Белинского, Профсоюзная, Сергеева, Бульвар Рябикова); в Ленинском – 5 коллекторов (по ул. Р. Люксембург).

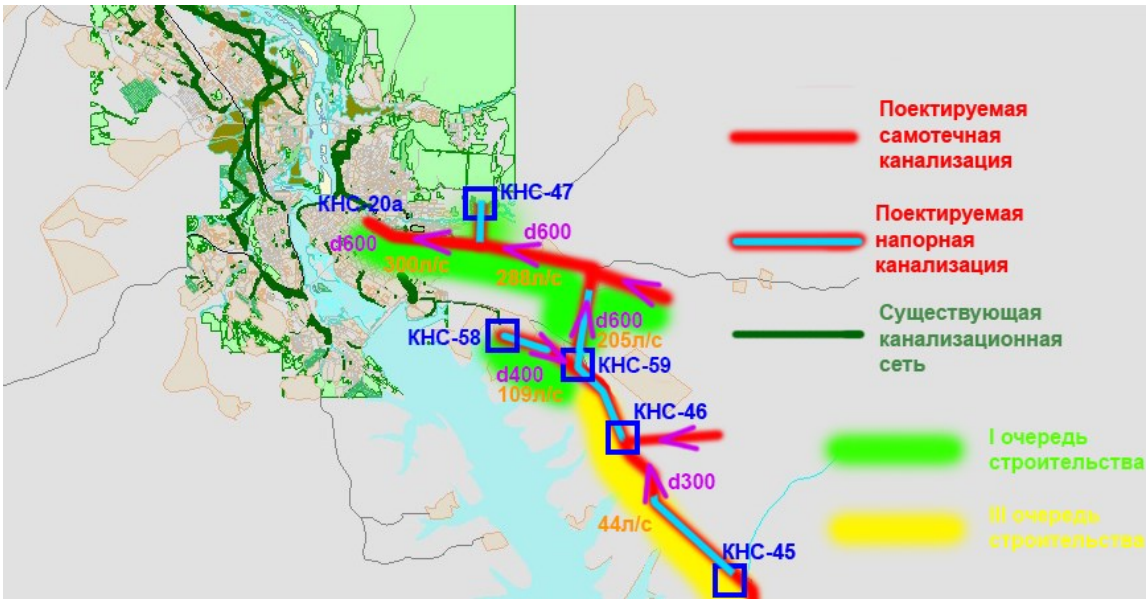


Рис. 1. Фрагмент перспективной схемы водоотведения г. Иркутска [10]
Fig. 1. Fragment of the perspective scheme of water disposal in Irkutsk [10]

Расчеты проведены для аварийной ситуации продолжительностью один час (t = 1 час) для того, чтобы при необходимости можно было интерпретировать результаты исследований для чрезвычайных ситуаций любой продолжительности. В работе принято, что авария имеет каскадный характер и связана с выходом из строя последовательно всех принятых к реконструкции коллекторов водоотведения.

В проведенных численных исследованиях приняты технические показатели действующих коллекторов, учтена их пропускная способность, а также природно-климатические факторы Байкальской природной территории. Суммарная длина коллекторов составляет 11 635 м. Суммарный расход сточной воды – 15 031,94 куб.м/час.

Нормативы загрязняющих веществ приняты в соответствии с Постановлением администрации г. Иркутска[7].

По результатам расчета масса загрязняющих веществ (M), поступивших на территорию водосборной площади за время аварии, составила 1,4778 тонн (рис. 2).

Следует отметить, что при построении данной гистограммы в исходные параметры заложена продолжительность залпового сброса, равная одному часу.

Однако при возникновении описанной выше ситуации при каскадном выходе из строя коллекторов время локализации существенно превышает один час. Допустим, время локализации возникшей аварийной ситуации до 12 часов, тогда гистограмма будет иметь следующий вид (рис. 3). На рис. 4 приведены результаты расчета возможного экологического ущерба с увеличением продолжительности аварийной ситуации от 1 до 12 часов (при последовательном выходе из строя коллекторов: каждые три часа полностью выходят из строя коллекторы одного из перечисленных выше районов). Расчет часовой аварийной ситуации показал, что в результате возникновения на территории г. Иркутска аварийных ситуаций в системе водоотведения, сопряженной с разливом сточной воды, экологический ущерб вод-

[7]Об утверждении нормативов состава сточных вод на территории города Иркутска и отмене Постановления администрации города Иркутска от 11 декабря 2018 года N 031-06-1111/8: Постановление администрации города Иркутска от 30 октября 2020 года N 031-06-676/0.

ным объектам составит 273,24337 тыс. рублей.

Размер возможного экологического ущерба, возникшего в результате сбросов сточных вод ввиду возникновения аварийных ситуаций продолжительностью 12 часов на коллекторах Октябрьского, Правобережного, Свердловского и Ленинского районов г. Иркутска, составит уже 2 560,5 тыс. рублей.

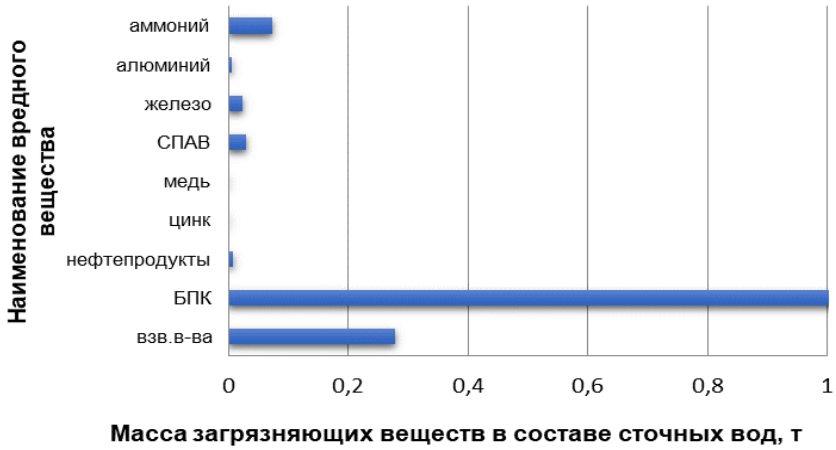


Рис. 2. Масса загрязняющих веществ в составе сточных вод, поступивших на территорию водосборной площади за 1 час
Fig. 2. The mass of pollutants in the composition of wastewater that entered the territory of the catchment area for 1 hour

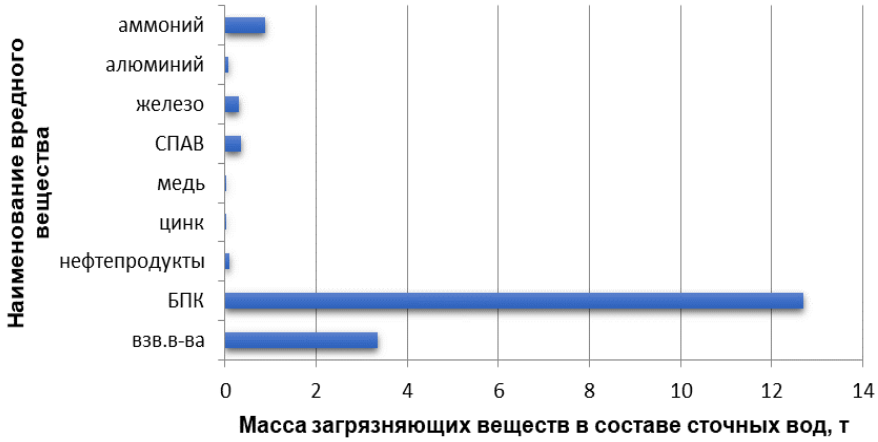


Рис. 3. Масса загрязняющих веществ в составе сточных вод, поступивших на территорию водосборной площади за 12 часов
Fig. 3. The mass of pollutants in the composition of wastewater that entered the territory of the catchment area in 12 hours

Построенная полиноминальная линия тренда (уравнение полинома 2 степени) с величиной достоверности аппроксимации, равной 0,9997, позволяет оценить прогнозируемый размер ущерба на последующие часы аварийной ситуации (красная линия).

Реконструкция системы водоотведения позволит значительно снизить количество аварийных ситуаций и объемы утечек сточной воды, а также существенно повысить качество очистки сточных вод[8] [1, 10, 11], что благоприятно отразится на экологическом состоянии территории г. Иркутска и Иркутской области, а также прилегающих к ним акваторий.

Реконструкция коллекторов на территории г. Иркутска приведет к снижению объемов сбросов загрязненных сточных вод в водные объекты Байкальской природной территории.

[8]Чупин Р. В. Модели и методы развития и реконструкции систем водоотведения в условиях вариативности перспективного отведения сточных вод: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.04. Пенза, 2020. 44 с.

Рис. 4. Размер возможного экологического ущерба при длительности аварийной ситуации от 1 до 12 часов с прогнозом
Fig. 4. The size of possible environmental damage with the duration of an emergency from 1 to 12 hours with a forecast

Заключение

Высокая степень износа инженерно-коммунальных систем приводит к риску возникновения аварийных ситуаций. В частности, аварии на коллекторах системы водоотведения становятся причиной поступления сточной воды в грунт или на рельеф водосборной площади. В рамках разработанной Схемы водоснабжения и водоотведения г. Иркутска на 2025 год предусматривается реконструкция 35 объектов в Октябрьском, Правобережном, Свердловском и Ленинском районах с суммарным расходом сточной воды 15 031,94 куб.м/час. Увеличение пропускной способности коллекторов и замена изношенных элементов при их реконструкции позволит снизить риски возникновения аварийных ситуаций, и, как следствие, предотвратить экологический ущерб. Так, при расчете выявлено, что при реконструкции коллекторов системы водоотведения сумма предотвращенного экологического ущерба составит 273,24337 тыс. рублей за час.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Макотрина Л. В. Состояние систем водоотведения в Иркутской области и перспективы их развития в соответствии с государственными программами // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2017. Т. 7. № 1. С. 69–76.
2. Воронов Ю. В. Водоотведение и очистка сточных вод. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2009. 706 с.
3. Воронов Ю. В., Казаков В. Д., Толстой М. Ю. Струйная аэрация. Научное издание. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2007. 216 с.
4. Чупин В. Р., Майзель И. В. Оптимальное управление развитием систем водоотведения // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2016. № 2 (17). С. 180–192.
5. Chupin R., Pham N. M., Chupin V. Optimization of the sewerage systems scheme of cities and populated areas // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 667 (1). p. 012018.
6. Чупин Р. В., Фам Нгок Минь. Оптимизация вариантов развития систем водоотведения // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2016. № 3 (18). С. 101–113.
7. Lavygina O, Grebneva O, Maizel I. Environmental aspects for the reconstruction of housing and communal services in the village Listvyanka of Irkutsk region // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. Vol. 667. p. 012056. https://doi.org/10.1088/1757-899X/667/1/012056.
8. Grebneva O., Lavygina O. Study of the possibility for reducing of environmental damage

when the transition to alternative sources of heat supply systems in housing and communal services // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 880 (1). p. 012043.
9. Лавыгина О. Л., Гребнева О. А. Природоохранные технологии в системах жилищно-коммунального хозяйства на Байкальской природной территории // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2019. Т. 9. № 4 (31). С. 726–733. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-4-726-733.
10. Алексеев А. В., Новицкий Н. Н., Чупин Р. В., Чупин В. Р. Перспективная схема развития систем водоснабжения и водоотведения г. Иркутска и Иркутского района // Водоснабжение и санитарная техника. 2017. № 11. С. 26–35.
11. Чупин Р. В. Оптимизация развивающихся систем водоотведения. Иркутск: ИрГТУ, 2015. 418 с.

REFERENCES

1. Makotrina LV. Condition of water disposal systems in Irkutsk region and perspectives of their development in accordance with state programs. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'*. 2017;7(1):69-76. (In Russ.).
2. Voronov YuV. Drainage and wastewater treatment. Moscow: Izdatel'stvo Assotsiatsii stroitel'nykh vuzov; 2009. 706 p. (In Russ.).
3. Voronov YuV, Kazakov VD, Tolstoi MYu. Jet aeration. Scientific publication. Moscow: Izdatel'stvo Assotsiatsii stroitel'nykh vuzov; 2007. 216 p. (In Russ.).
4. Chupin VR, Maizel IV. Optimal management of the development of water disposal systems. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'*. 2016;2(17):180-192. (In Russ.).
5. Chupin R, Pham NM, Chupin V. Optimization of the sewerage systems scheme of cities and populated areas. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 667 (1). p. 012018.
6. Chupin RV, Pham Ngoc Minh. Optimization of development variation of water disposal systems. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'*. 2016;3(18):101-112. (In Russ.).
7. Lavygina O, Grebneva O, Maizel I. Environmental aspects for the reconstruction of housing and communal services in the village Listvyanka of Irkutsk region. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2019;667:012056. https://doi.org/10.1088/1757-899X/667/1/012056.
8. Grebneva O, Lavygina O. Study of the possibility for reducing of environmental damage when the transition to alternative sources of heat supply systems in housing and communal services. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020;880(1):012043.
9. Lavygina OL, Grebneva OA. Prirodookhrannye tekhnologii v sistemakh zhilishchno-kommunal'nogo khozyaistva na Baikal'skoi prirodnoi territorii. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'*. 2019;9(4):726-733. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-4-726-733. (In Russ.).
10. Alekseev AV, Novitskii NN, Chupin RV, Chupin VR. Prospective development scheme of the water supply and wastewater disposal systems in the city of Irkutsk and Irkutsk area. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water supply and sanitary technique*. 2017;11:26-36. (In Russ.).
11. Chupin RV. Optimization of developing wastewater systems. Irkutsk: ISTU; 2015. 418 p. (In Russ.).

Информация об авторах

О. Л. Лавыгина,
кандидат технических наук,
доцент кафедры городского строительства и хозяйства,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: olgakot81@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-9558-5018

Information about the authors

Olga L. Lavygina,
Cand. Sci. (Eng.),
Associate Professor of the Department of Urban Construction and Economy,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,
e-mail: olgakot81@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-9558-5018

О. А. Гребнева,
кандидат технических наук,
доцент кафедры городского строительства и хозяйства,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
старший научный сотрудник,
Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130, Россия,
e-mail: oksana@isem.irk.ru
https://orcid.org/0000-0002-1492-5552

Oksana A. Grebneva,
Cand. Sci. (Eng.),
Associate Professor of the Department of Urban Construction and Economy,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,
Senior Researcher,
Energy Systems Institute SB RAS,
130 Lermontov St., Irkutsk, 664033, Russia,
e-mail: oksana@isem.irk.ru
https://orcid.org/0000-0002-1492-5552

А. В. Алексеев,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130, Россия,
e-mail: alexeev@isem.irk.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4051-8245

Aleksander V. Alekseev,
Cand. Sci. (Eng.),
Senior Researcher,
Energy Systems Institute SB RAS,
130 Lermontov St., Irkutsk, 664033, Russia,
e-mail: alexeev@isem.irk.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4051-8245

Вклад авторов

Лавыгина О. Л., Гребнева О. А., Алексеев А. В. имеют равные авторские права. Лавыгина О. Л. несет ответственность за плагиат.

Contribution of the authors

Lavygina O. L., Grebneva O. A., Alekseev A. V. have equal copyrights. Lavygina O. L. 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 about no conflict of interests regarding the publication of this article.

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

Статья поступила в редакцию 03.02.2022.
Одобрена после рецензирования 28.02.2022.
Принята к публикации 01.03.2022.

The article was submitted 03.02.2022.
Approved after reviewing 28.02.2022.
Accepted for publication 01.03.2022.

Научная статья
УДК 69.05
https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-70-81

Технологии информационного моделирования (BIM) как основа бережливого строительства

© Лейди Татьяна Гевара Рада, Виталий Владимирович Пешков, Владимир Иванович Мартьянов, Екатерина Алексеевна Радионова, Фаина Григорьевна Бужеева, Елена Витальевна Сайбаталова
Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия
Автор, ответственный за переписку: Гевара Рада Лейди Татьяна, tatis.guevara92@gmail.com

Аннотация. Цель работы – повысить эффективность деятельности хозяйствующих субъектов в строительстве путем применения новых подходов к совершенствованию организационных структур и методов управления строительством, таких как информационное моделирование (BIM) и бережливое строительство (БС). В данном исследовании представлен обзор методов БС, описываются конкретные разработанные инструменты и методологии, такие как долгосрочное планирование, обязательства по планированию, минимизация перерасхода ресурсов, надежность рабочего процесса и управление проектами. Также были рассмотрены стратегии и вспомогательные инструменты для реализации эффективных процессов на строительных объектах для компаний с функциями генерального подрядчика. Применение бережливого строительства, в частности pull-планирования, позволяет повысить эффективность коммуникации между участниками строительного процесса, а при объединении методов БС и информационного моделирования можно сократить расходы в строительном производстве. Технология информационного моделирования (BIM) на основе БС может применяться в проектировании, строительстве и управлении проектом на протяжении всего жизненного цикла строительного объекта.

Ключевые слова: технологии информационного моделирования, бережливое строительство, управление проектами, производственная система Toyota, методы и инструменты БС, последний планировщик (LPS), точно в срок, экономическая эффективность

Для цитирования: Гевара Рада Л. Т., Пешков В. В., Мартьянов В. И., Радионова Е. А., Бужеева Ф. Г., Сайбаталова Е. В. Технологии информационного моделирования (BIM) как основа бережливого строительства // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 1. С. 70–81. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-70-81.

Original article

Building Information Modelling (BIM) technology as a basis for lean construction

Leydy T. Guevara Rada, Vitaliy V. Peshkov, Vladimir I. Mart'yanov, Ekaterina A. Radionova, Faina G. Buzheeva, Elena V. Saibatalova
Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia
Corresponding author: Leydy T. Guevara Rada, tatis.guevara92@gmail.com

Abstract. This article considers the problem of increasing the efficiency of construction companies by implementing new approaches to improving organizational structures and construction management methods, such as building information modelling (BIM) and lean construction (LC). A review of existing LC methods is carried out, describing such specific methodologies, as long-term planning, planning obligations, minimizing resource overruns, workflow reliability and project management. Strategies and supporting mechanisms for the implementation of efficient processes on construction sites for companies with the functions of general contractor are also considered. The application of lean construction, pull planning in particular, increases the efficiency of communication between the participants of the construction process. The concurrent use of LC and BIM methods allows construction costs to be reduced. The LC-based BIM technology can be applied in design, construction and project management throughout the entire life cycle of a construction project.

Keywords: information modeling technologies, lean construction, project management, Toyota production system, LC methods and tools, the latest planning system (LPS), just-in-time, economic efficiency

For citation: Guevara Rada L. T., Peshkov V. V., Mart'yanov V. I., Radionova E. A., Buzheeva F. G., Saibatalova E. V. Building Information Modelling (BIM) technology as a basis for lean construction. *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.

Введение

В середине XX в. председатель совета директоров японской компании *Toyota* (*Toyota Production System*) Тайити Оно применил новую концепцию Lean Production («бережливое производство»), которая нашла широкое применение во всем мире. Данная концепция строится на рациональном использовании имеющихся ресурсов (строительных материалов, времени и рабочей силы, транспорта), а также стремится убрать из этой цепи действия, которые относятся к простою и приносят убытки [1–3]. В данной публикации подробно анализируются основные виды потерь в строительном производстве, так как использование концепции бережливого производства – это возможность сократить жизненный цикл производства в несколько раз и в результате снизить конечную стоимость построенных зданий и сооружений. Главная идея бережливого производства заключается в том, что определенные действия повышают ценность продукции, создаваемой в процессе строительства, а другие, наоборот, уменьшают. Концепция бережливого производства располагает большим количеством методов, инструментов и подходов к управлению.

Lean Construction (с англ. – «бережливое строительство») – это адаптация к процессам строительства, концепция из философии предприятия, созданной *Toyota* (рисунок). Философия управления производством, ориентированная на строительные работы, возникла в исследовании 1992 г. финского ученого Лаури Коскела под названием «Технический отчет № 72. Применение новой производственной философии в строительстве» [4].

Алгоритм внедрения элементов бережливого строительства в систему управления проектами компании от Высшей школы экономики, Москва, 2014 [5]
Algorithm for introducing lean construction elements into the company's Project management System from the Higher School of Economics, Moscow, 2014 [5]

В разных странах проводятся исследования по использованию новых концепций в области современного строительства. В России в том числе этим вопросом занимался профессор Олег Игоревич Пакидов. Он предложил проект «Российского объединения стандартизации информационного моделирования в строительстве» (РоСИМС) [6]. В Колумбии в университете *EAFIT* (г. Медельин) пробуют объединить технологии BIM и Lean construction. При соединении моделирования и улучшения организации процессов строительных работ можно получить более эффективные результаты с сокращением потерь ресурсов [7–10].

Основными видами потерь являются:

– потери перепроизводства (избыточного производства продукции);

– транспортировки (избыточного перемещения сырья, продукции, материалов);

– ожидания (в рабочее время не осуществляется производственная деятельность);

– излишней обработки (обработка, не приносящая ценности или добавляющая ненужную функциональность);

– из-за производства продукции с дефектами (брака);

– из-за лишних движений (не связанных напрямую с осуществлением производственной деятельности);

– лишние запасы (хранение избыточного количества сырья, материалов, полуфабрикатов);

– потери творческого потенциала (неполное использование интеллектуальных возможностей сотрудников)[1].

В РФ метод бережливого строительства активно применяется. Например, его использует Национальное объединение строителей (НОСТРОЙ) в коллаборации с Московским государственным строительным университетом (МГСУ). Кроме того, на ближайшие 30 лет принята концепция Стратегии инновационного развития строительной отрасли РФ, главная задача внедрения которой – уменьшение и устранение ненужной траты ресурсов в строительстве через широкое распространение BIM-технологий и технологий бережливого строительства во всей строительной отрасли. Все эти вопросы затрагивают интересы широкого круга людей – от девелоперов до инвесторов, а также меняют подход к работе проектировщиков, подрядчиков, архитекторов и др. Ведущие строительные компании, научные организации, университеты, союзы архитекторов стремятся найти широкое применение данной концепции в строительной отрасли нашей страны[2].

В 2014 г. в Москве проходил семинар по разработке концепции Стратегии инновационного развития строительной отрасли РФ на период до 2030 года, в котором принимали участие ведущие специалисты МГСУ, НОСТРОЙ, «Газпром ВНИИГАЗ», «Атомэнергопроекта», Союза строителей железных дорог, Главстроя, *ACCELERATION*, Рабочей группы *BIM IPD*, «Киберсистемы» и др. На семинаре выступил с докладом Н. Ф. Селезнев, председатель Комитета инновационных технологий в строительстве НОСТРОЙ. Был рассмотрен ряд актуальных вопросов, таких как: организационные схемы эффективной реализации комплексных инвестиционных строительных проектов (EPC, EPC (M)), типы договоров и организация взаимодействия их участников (IPD, интегрированный договор и др.); применение методов и инструментов информационного моделирования (BIM) на основных этапах инвестиционных строительных проектов (офис управления проектами, проектирование, подготовка строительства, закупки, строительство, эксплуатация объектов строительства); методы и инструменты реализации принципов Lean на всех этапах в строительстве; инновационные подходы к контролю качества и диагностике в строительстве; подготовка специалистов для предприятий, работающих по новым технологиям[3].

Методами и инструментами БС являются:

– выявление и оценка основных видов потерь и реализация мероприятий по их устранению;

– внедрение метода проектирования с учетом целевой ценности объекта (TVD – Target Value Design);

– внедрение технологий информационного моделирования зданий (BIM – Building

---

[1]Свеженцев А. Г. Организационно-экономическое обеспечение развития атомной промышленности: дис. … канд. экон. наук: 08.00.05. Нижний Новгород, 2012. 175 с.

[2]Бережливое строительство и информационное моделирование [Электронный ресурс] // Официальный сайт НИУ МГСУ. URL: https://mgsu.ru/news/Nauka/Berezhlivoe-str-informa-modelirovanie/ (27.03.2020).

[3]МГСУ совместно с Комитетом инновационных технологий в строительстве «НОСТРОЙ» провел семинар «Бережливое строительство и информационное моделирование – инновационные стратегические направления в современном строительстве» // Официальный сайт «НОСТРОЙ» [Электронный ресурс]. URL: https://nostroy.ru/articles/detail.php?ELEMENT_ID=3078/ (19.12.2014).

Information Modeling);

– внедрение системы «Последний планировщик»;

– построение системы вытягивания и создание строительного конвейера;

– информационное обеспечение ежедневных рабочих совещаний участников строительного проекта;

– внедрение системы 5S и инструментов визуализации;

– стандартизация методов выполнения отдельных видов строительно-монтажных работ;

– внедрение методологии непрерывного совершенствования;

– внедрение методов, обеспечивающих качество и защиту от непреднамеренных ошибок;

– внедрение методологии «точно в срок» (Just In Time);

– внедрение отчетности в формате А3 [11].

Внедрение инструментов и методов бережливого строительства в строительной компании решается следующими задачами:

1. Оперативные – направленные на улучшение отдельных процессов.

Зона ответственности – инженерно-технический работник (ИТР) на строительной площадке.

Бережливые инструменты – 5С, стандартизация, картирование, подача оптимизационных предложений, «вытягивающее» планирование.

2. Стратегические – направленные на улучшение потока ценности всего проекта.

Зона ответственности – команда управления проектами (УП).

Бережливые инструменты – информационное моделирование, поставки «точно в срок», всеобщее управление качеством (Total Quality Management – TQM), гистограмма потока добавленной ценности [12–14].

Методы

Техники БС

Общеизвестно, что в строительстве существует риск больших потерь, и многие руководители проектов к этому привыкли и относятся, как к норме. Например, на строительной площадке больше половины времени рабочая сила используется нерационально. Инструменты lean и 5S призваны существенно уменьшать потери в строительстве, технологии кайдзен и канбан нашли эффективное применение в крупнейших мировых строительных компаниях [15].

Пять S (5S) – это система организации и рационализации рабочего места (рабочего пространства) в lean-производстве, эффективное планирование процессов и др.

Канбан («метка») является инструментом для обработки и обеспечения производства «точно в срок», это один из важных инструментов системы *Toyota*. По существу, канбан – это простая и прямая форма общения, всегда находящаяся там, где это необходимо. В большинстве случаев канбан представляет собой небольшой листок бумаги, вставленный в прямоугольный виниловый конверт. На этом листе бумаги написано, сколько каждой детали нужно убрать или сколько деталей нужно собрать [16].

Кайдзен – японская философия или практика, которая фокусируется на непрерывном совершенствовании процессов производства, разработки, вспомогательных бизнес-процессов и управления, а также всех аспектов жизни[4].

Например, подрядчик одной из малых российских компаний отмечает[5], что проведение кайдзен-событий в мастерских привело к экономии на эксплуатации оборудования в размере 3 млн руб.

В поисках оперативности, экономичности и качества при выполнении работ как профессионалы гражданского строительства мы всегда должны быть связаны с новыми технологиями и тенденциями. Однако часто некоторые старые практики могут обеспечить всю необходимую оптимизацию, если они адаптированы для использования в нашей рабочей среде. Методология 5S не всегда применяется в области гражданского строительства, поэтому данное исследование направлено на трактовку данной методологии и других инструментов бережливого строительства, а также на освещение преимуществ применения этих инструментов и методов на строительной площадке.

Содержание понятия 5S

Методика 5S возникла в Японии во второй половине XX в. После Второй мировой войны Япония переживала процесс восстановления и реструктуризации промышленности, направленный на улучшение ее экономики и

[4]Кайдзен [Электронный ресурс] // Википедия. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki?curid=1489925/ (09.09.2021).
[5]Бережливое строительство – скрытый потенциал Lean-технологий [Электронный ресурс]. URL: https://scmconsult.ru/publishing/insight/functional_analytics/operational_consulting/berezhlivoe-stroitelstvo/ (09.01.2022).

возвращение японской продукции на рынок. Возникла потребность в реорганизации старых предприятий, и появилась методология 5S, созданная Каору Исикава, инженером по контролю качества.

Этот метод стал основой управления качеством и был направлен на поддержание хорошего производственного потока со здоровой и организованной рабочей средой. Несмотря на то, что он был разработан для промышленного сектора, метод был адаптирован и в настоящее время применяется в компаниях в самых различных отраслях промышленности, в том числе в строительстве.

Понятие «5S» включает в себя пять японских слов: сэйри, сейтон, сейсо, сэйкэцу и сицукэ.

Сейри («использование») обозначает стремление проанализировать использование оборудования и материалов. Если они больше не нужны, их необходимо правильно расположить.

Сейтон («организация») – чувство организации, которое касается хранения и утилизации материалов и оборудования. Таким образом, при более организованной среде повышается производительность труда.

Сейсо, или sixo («очистка»), – чувство чистоты, проявляющееся двояко: есть гигиеническая сторона, направленная на оздоровление рабочего места, но чувство чистоты также относится к честности и ясности в рабочих отношениях.

Сэйкэцу («стандартизация» и «здравоохранение») предполагает, что с внедрением методологии 5S устанавливаются новые стандарты как в сфере труда, так и в области охраны здоровья и безопасности работников. Сэйкэцу пытается типизировать это ситуацию.

Сицукэ («дисциплина») предполагает, что рабочая среда состоит не только из машин и принадлежностей, и необходимо прививать команде чувства дисциплины и готовности следовать созданным руководящим принципам.

Чтобы применить методологию 5S на строительной площадке, следует создать комитет по ее внедрению. Нужно выбрать ответственных за внедрение данной методики в работу – нескольких профессионалов, так как предстоит выполнить много шагов – от анализа текущей ситуации на строительной площадке до практики 5S.

Необходимо принимать множество решений, исходя из разных ситуаций.

Прежде всего, нужно выяснить, кто из членов команды больше всего знаком с организационным менеджментом, и обучить их этой дисциплине.

Во-вторых, следует оценить «горячие точки» – провести обследование оборудования, материалов и процессов, которые выполняются при реализации проекта. Только так можно определить и оценить, какие моменты являются критическими на строительной площадке, то есть, где больше всего перерасходов, задержек и потерь. С помощью этой оценки можно получить более широкое представление о возникающих проблемах. Таким образом, все измерения, которые будут проводиться, станут более точными и эффективными.

В-третьих, необходимо планировать, работа должна выполняться по заранее разработанному плану. Этот шаг также выполняется при применении методологии 5S на строительной площадке. Таким образом, у каждого из ответственных за внедрение данной методологии есть обязанности и сроки работы, и становится проще предъявлять требования в отношении обязательств и проверять, идет ли реализация в соответствии с планом [17].

В-четвертых, нужно расширить возможности своей команды – организовать обучение и повышение квалификации рабочих до вступления в силу новых правил, что будет являться гарантией их готовности к этим изменениям [18, 19]. Таким образом, рабочие будут технически подготовлены, особенно в отношении здоровья и безопасности.

В-пятых, после того, как вся эта подготовка сделана, нужно фактически внедрить 5S.

Заметим, чтобы гарантировать ожидаемый результат этого процесса, нужно, чтобы все пять факторов были учтены. Поначалу это может быть сложно, однако по мере внедрения этих новых практик эффект от них появляется и усиливается, поскольку их собственное развитие приводит к улучшениям.

Чтобы проверить, какие проблемы можно исправить и правильно ли выполняется работа, всегда следует проводить периодические оценки, анализировать рабочий процесс для выявления точки улучшения в применении рассматриваемой методологии.

Таким образом, при обнаружении проблем любого типа ход работы можно видоизменить, сохранив положительные моменты и исправив возможные недостатки. При проведении этой оценки следует отметить два момента: количественное определение отработанного материала (количество использований материалов) и образование и удаление отходов.

Если количество материалов или ресурсов велико, можно заметить несоответствие рабо-

ты принципам методологии. При большом количестве отходов и неадекватной утилизации ресурсов следует изучить вопросы, связанные с чистотой, дисциплиной и организацией.

Преимущества методологии 5S на строительной площадке:

1. Уменьшение отходов (поиск способов сэкономить) – это практическое правило для всех, кто хочет преуспеть в бизнесе. Применяя 5S, можно выявить перерасход как материалов, так и рабочей силы, и инвестировать только в то, что необходимо.

2. Оптимизация ресурсов. Когда есть организованная, здоровая и функциональная среда, обнаруживается, что уже существующие ресурсы приносят гораздо больше пользы, чем предполагалось. Таким образом, можно производить больше, тратя меньше.

3. Предотвращение несчастных случаев. При обучении профессионалов и улучшении организации и охраны здоровья на строительной площадке вероятность несчастных случаев снижается. Помимо обеспечения здоровья рабочих, повышается производительность труда, устраняются штрафы и судебные иски.

4. Повышение качества конечного продукта. Все действия по внедрению 5S на строительной площадке направлены на то, чтобы извлечь максимум из сотрудников, методов и материалов. Таким образом, можно не только быстро и экономично выполнять работы, но и повышать качество строительства.

5. Методология 5S из-за своего промышленного происхождения все еще находится в стадии разработки в области гражданского строительства. Ее использование может стать для бизнеса отличным способом выделиться. Самое главное – понять и спланировать, как будет применяться методология.

Последний планировщик

Институт бережливого строительства (*Lean Construction Institute (LCI)* – некоммерческая организация, образованная в 1997 г., которая считается передовой в трансформации промышленной отрасли) предложил один из наиболее важных методов бережливого строительства – LPS (Last Planner System, с англ. – «последний планировщик»). LPS – это инновационный инструмент для управления проектами в сфере строительства. Данный метод основан на заинтересованности членов команды выполнять работу в определенные сроки при определенных условиях [20].

LPS – это метод, который организует рабочий процесс и учитывает изменение проекта в ходе строительства. Последним планировщиком является лицо или группа людей, ответственных за оперативное планирование. LPS можно увидеть на производстве, где отдельные задачи выполняются на операционном уровне, облегчая оптимизацию рабочего процесса и контроль производственного подразделения.

Интеграция нескольких уровней планирования путем приглашения соответствующих заинтересованных сторон на специальные совещания позволяет обеспечить соответствие между тем, что должно быть сделано, что может быть сделано, и тем, что на самом деле будут делать работники на местах [21, 22]. Это метод, основанный на твердых обещаниях и преданности делу.

Кроме того, LPS обеспечивает процесс обучения, основанный на анализе показателя PPC (Plan Percent Complete – «процент выполнения плана») – это процент от объема работ, выполненный по факту за некоторый отрезок времени. Метод позволяет анализировать неудачи и корректировать рабочий процесс, то есть вывести показатель в виде процента от принятой ответственности с указанием доли работы, выполненной вовремя, и причин изменения плана.

В строительстве система реализована в виде назначения руководителем заданий бригадам непосредственно на строительной площадке.

Преимущества метода LPS:

– снижение уровня нестабильности процесса – переход к следующей задаче только после выполнения предыдущей (если при прохождении проверки генподрядчик обнаружил неправильно выполненную работу, ответственное лицо может попросить что-либо доработать);

– подготовка условий для эффективного и бесперебойного выполнения работы строительными бригадами;

– еженедельные совещания по согласованию графика работы различных рабочих групп и специалистов;

– мониторинг показателя PPC (либо Plan Percent Complete – «процент выполнения плана», либо Project Plan Completion – «коэффициент выполнения плана») – это измерение выполнения объема работ (в процентах).

В одной из публикаций Института бережливого строительства за 2001 г. были приведены данные о том, что в текущих проектах с показателем PPC (процент выполнения плана) более 50 % коэффициент производительности достигал 85 %. При этом там, где PPC был ниже отметки 50 %, производительность

возросла всего на 15 %. Почему в качестве критерия был установлен уровень 50 %, не объясняется, но вывод очевиден: чем больше объем уже завершенных работ, тем выше производительность труда строительных бригад[6].

Последовательность внедрения плана хода работ можно разделить на несколько фаз:

1. Первая фаза – «графики обратной фазы», прогноз на шесть недель вперед в обратном порядке, начиная с главной цели.

2. Вторая фаза – Weekly Work Plan (WWP) – «недельный рабочий план».

3. Третья фаза – Percent Plan Complete (PPC) – «процент выполнения плана». Это базовая мера того, насколько хорошо работает система планирования, она рассчитывается как количество обещаний/действий, выполненных в указанный день, деленное на общее количество обещаний/действий, выполненных/запланированных на неделю.

Последовательность и скорость выполнения плана прогресса зависит от потока работы, а также потенциала и эффективности рабочих групп.

Выполнение плана работ по «краткосрочному графику» является одним из методов бережливого строительства, который улучшает взаимодействие между подрядчиками и руководителями проектов для эффективного выполнения работ на строительной площадке (таблица).

Важная роль инструмента «последний планировщик» состоит в том, чтобы заменить оптимистическое планирование реалистичным, оценивая производительность работников на основе их способности безошибочно выполнять свои обязательства. Цели Last Planner состоят в том, чтобы осуществлять действия путем планирования обратной фазы через групповое планирование и оптимизировать ресурсы в долгосрочной перспективе [4].

От «планирования сверху» к «вытягиванию»
From "planning from above" to "pulling"

Теория строительного потока	Бережливое строительство
Организация работ поточным методом	–
Оптимизация всех работ	Максимизация ценности и минимизация потерь
«Планирование сверху»*	«Вытягивание»** планирования
Определенные нормативами трудозатраты	Учет доступности ресурсов
Принятие решений на верхнем уровне	Децентрализация принятия решений
Централизованные поставки	Поставки «точно в срок»
Контроль исполнения	Доведение работы до конца

Примечания:
*push-планирование – директивный график, разработанный командой проекта, спущенный «сверху» без учета ресурсов подрядчиков и готовности фронта работ;
**pull-планирование – краткосрочный график на 5–6 недель, разрабатываемый совместно ответственными представителями подрядчиков [5].

Результаты и их обсуждение

На строительных площадках могут применяться такие методы, как анализ добавленной/не добавленной стоимости и сопоставление потоков стоимости, выявление и оценка основных видов потерь в полевых условиях, 5S, SMED и канбан.

Остановимся подробнее на таком методе бережливого производства, как SMED (Single-Minute Exchange of Dies – «быстрая переналадка», т.е. быстрая смена пресс-форм) – это метод сокращения отходов в производственной системе, основанный на обеспечении однозначного времени смены инструмента в минутах. Данная концепция вводит идею о том, что в целом смена рабочего места и инициализация процесса производства должны длиться не более 10 минут (single minute) [23, 24].

[6]Бережливое строительство – скрытый потенциал Lean-технологий [Электронный ресурс]. URL: https://scmconsult.ru/publishing/insight/functional_analytics/operational_consulting/berezhlivoe-stroitelstvo/ (09.01.2022).

Бережливые действия на месте доказали свою эффективность в сокращении различных видов перерасходов (данные приводятся из бразильского исследования бережливого строительства [25]):

– повышение безопасности хода строительства с помощью программ 5S приводит к снижению аварийности и увеличению положительных показателей проверки на 3,4 %;

– повышение качества: улучшение качества стальной балки от 50 до 10 % от скорости дефекта и сокращение времени обработки стальной балки на 37 % с использованием 5S и Just-In-Time delivery («доставка точно в срок»);

– оптимизация надежности доставки строительных материалов (т.е. доработка в связи с материальными проблемами, временем ожидания рабочей силы, поиском материала/оборудования, несколькими периодами обработки), повышение производительности рабочей силы на строительной площадке до 25 минут на человека в день.

Существует определенная стратегия по внедрению программы мероприятий БС. В первую очередь, анализируют основные виды потерь, затем происходит систематизация потока ценности (Value Stream Maps) и начинается разработка инструментов по устранению недостатков в проекте строительства. Существенная роль отводится контролю качества процесса выполнения этих работ (относится к дополнительным услугам). Проведение всех этих мероприятий уже на данной стадии является неоспоримым преимуществом для заказчика.

В настоящее время на каждом этапе строительства активно применяются информационные технологии, что позволяет создать на основе проектно-сметной документации информационные базы данных и построить соответствующую 3D-модель проекта. Использование систем «последний планировщик» и «строительный конвейер» позволяет заказчику управлять строительным производством и достигать поставленных целей в намеченный срок при эффективном использовании ресурсов и минимальных затратах.

Для ежедневных задач используют систему KPI (Key Performance Indicators – с англ. «ключевые показатели эффективности») для оценки эффективности каждого участника компании, решение рабочих вопросов происходит максимально быстро. Также осуществляется процесс непрерывного совершенствования с использованием бенчмаркинга (benchmarking – с англ. «эталонное оценивание») – сопоставительного анализа на основе эталонных показателей как процесса определения, понимания и адаптации имеющихся примеров эффективного функционирования предприятия с целью улучшения собственной работы[7]. Всё это дает возможность проекту выйти на международный уровень и соответствовать мировым показателям качества. Использование концепции «точно в срок» (Just In Time) оптимизирует процесс движения строительных материалов, а внедрение ежедневной отчетности в формате А3 позволяет эффективно выстраивать коммуникации с участниками проекта с использованием передовых технологий [23].

Заключение

В данной работе подробно исследована концепция бережливого строительства (Lean construction). БС является результатом применения новой формы управления строительным производством. Эта японская философия управления выгодна для промышленности, поскольку сводит к минимуму потери и повышает производительность.

К существенным особенностям бережливого строительства относится четкий набор задач, правильное распределение строительных материалов и устранение отходов на строительной площадке, мероприятия по снижению сроков и затрат на этапе проектирования и строительства, эффективная коммуникация с участниками процесса строительства в целях непрерывного совершенствования деятельности.

При этом для повышения производительности работ в проектировании используются современные визуальные средства, такие как виртуальное проектирование и строительство (virtual design and construction – VDC) и BIM-модель, что помогает заказчику и всем участникам составить представление о проекте.

Технология информационного моделирования (BIM) на основе БС может применяться в проектировании, строительстве и управлении проектом на протяжении всего жизненного цикла строительных объектов.

Также в работе было рассмотрено применение бережливых инструментов и методов проектными группами для минимизации и устранения потерь. При использовании системы 5S повышается производительность и безопасность в период строительства.

[7]Бенчмаркинг [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Бенчмаркинг (22.11.2021).

Можно заключить, что внедрение технологий БС и BIM-моделирования значительно экономит средства как для отрасли, так и для общества.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Nagarjuna Y. Analysis of lean construction by using last planner system. URL: https://www.academia.edu/8753126/Analysis_of_Lean_Construction_by_Using_Last_Planner_System_AnalysisofLeanConstructionbyUsingLastPlannerSystem_CONTENTS (09.01.2022).
2. Mowade K., Shelar K. Lean Construction // International Journal of Scientific Engineering and Science. 2017. Vol. 1. Iss. 11. p. 70-74.
3. Shirgar N. A. H., Yadav N. B. Overview of Lean Concept in Construction Industry // GRD Journals, Global Research and Development Journal for Engineering, Emerging Research and Innovations in Civil Engineering (ERICE - 2019). 2019. p. 11-14.
4. Ballard G., Tommelein I., Koskela L., Howell G. Lean construction tools and techniques // Design and Construction. 2002. p. 227-255.
5. Нечаева И. М. Внедрение инструментов и методов бережливого строительства [Электронный ресурс]. М., 2014. URL: https://www.hse.ru/data/2014/07/07/1312102788/Нечаева%20И.М.%20Внедрение%20инструментов%20и%20методов%20бережливого%20строительства.pdf (09.01.2022).
6. Пакидов О. Российское бережливое строительство (Russian Lean Construction) [Электронный ресурс]. URL: http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=15284&compage=1 (09.01.2022).
7. Latorre U. A., Sanz C., Sánchez B. Application of lean-BIM model to improve design building phase's productivity // Informes de la construcción. 2019. Vol. 71 (556). p. 1-9.
8. Sepasgozar S. M. E., Hui F. K. P., Shirowzhan S., Foroozanfar M., Yang L., Aye L. Lean practices using building information modeling (BIM) and digital twinning for sustainable construction // Sustainability (Switzerland). 2021. Vol. 13 (1). p. 161. https://doi.org/10.3390/su13010161.
9. Evans M., Farrell P., Zewein W., Mashali A. Analysis framework for the interactions between building information modelling (BIM) and lean construction on construction mega-projects // Journal of Engineering, Design and Technology. 2021. Vol. 19. No. 6. p. 1451-1471. https://doi.org/10.1108/JEDT-08-2020-0328.
10. Gómez-Sánchez J. M., Ponz-Tienda J. L., Romero-Cortés J. P. Lean and BIM Implementation in Colombia: Interactions and Lessons Learned // Proc. 27th Annual Conference of the International. Group for Lean Construction (IGLC). Dublin, 2019. p. 1117-1128. https://doi.org/10.24928/2019/0150.
11. Кузнецова Е. В., Попов Д. А. Внедрение инновационных методов управления строительством // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: мат-лы Всерос. науч.-метод. конф. (с междунар. участием) (Оренбург, 23–25 января 2020 года). Оренбург, 2020. С. 255–259.
12. Huang X. Application of BIM Big Data in Construction Engineering Cost // Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol. 1865. p. 32016. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1865/3/032016.
13. Mahmood A., Abrishami S. BIM for lean building surveying services // Construction Innovation. 2020. Vol. 20 (3). p. 447-470. https://doi.org/10.1108/CI-11-2019-0131.
14. Постнов К. В., Степин П. А. Концепция бережливого производства как эффективный метод рационального использования производственных ресурсов строительных организаций // Научное обозрение. 2017. № 6. С. 144–148.
15. Daniel E. I., Pasquire C., Dickens G. Exploring the implementation of the Last Planner® System through IGLC community: twenty one years of experience // Proc. 23rd Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction (Perth, Australia, July 29-31 2015). Perth, 2015. p. 153-162.
16. Тайити Оно. Производственная система Тойоты: уходя от массового производства: пер. с англ. М.: Изд-во ИКСИ, 2008. 208 с.
17. Choo H. J., Tommelein I. D. Work Move Plan: database for distributed planning and coordination // Proceedings 8th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC-8), 17–19 July, Brighton, UK. 2000. URL: www.sussex.ac.uk/spru/imichair/iglc8/08.pdf (09.01.2022).
18. Shirazi B., Langford D., Rowlinson S. Organizational structures in the construction industry // Construction Management and Economics. 1996. Vol. 14 (3). p. 199-212.
19. Быстрая переналадка для рабочих: пер. с англ. / под ред. В. Болтрукевича. М.: Изд-во ИКСИ, 2009. 103 с.
20. Ballard G., Howell G. A., Tommelein I. D., Zabelle T. The Last Planner Production System Workbook / Lean Construction Institute. San Francisco, California, 2007. 81 p.
21. Akel N. G., Boyers J. C., Tommelein I. D., Walsh K. D., Hershauer J. C. Considerations for

streamlining a vertically integrated company: a case study // Proceedings 9th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC-9, Singapore, 6 – 8th August 2001). Singapore: National University of Singapore, 2001. p. 1-16.
22. Sbiti M., Beddiar K., Beladjine D., Perrault R., Mazari B. Toward BIM and LPS Data Integration for Lean Site Project Management: A State-of-the-Art Review and Recommendations // Buildings. 2021. Vol. 11. p. 196. https://doi.org/10.3390/buildings11050196.
23. Будзуляк Б. В., Апостолов А. А., Селезнев Н. Ф., Моисеев Л. П., Егоров В. С. Бережливое строительство – стратегическое направление развития отрасли // Газовая промышленность. 2014. № 11. С. 10–14.
24. Alves T. da C. L., Milberg C., Kenneth D. W. Exploring lean construction practices, research, and education // Proceedings IGLC-18, July 2010, Technion, Haifa, Israel. Haifa, 2010. p. 435-444.
25. Silva R. R. L. da. Construção Predial Lean – Mapeamento da Cadaia de Valor das Estructuras Metálicas / Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2005. 189 p.

REFERENCES

1. Nagarjuna Y. Analysis of lean construction by using last planner system. URL: https://www.academia.edu/8753126/Analysis_of_Lean_Construction_by_Using_Last_Planner_System_AnalysisofLeanConstructionbyUsingLastPlannerSystem_CONTENTS [Accessed 09 January 2022].
2. Mowade K, Shelar K. Lean Construction. *International Journal of Scientific Engineering and Science*. 2017;1(11):70-74.
3. Shirgar NAH, Yadav NB. Overview of Lean Concept in Construction Industry. *GRD Journals, Global Research and Development Journal for Engineering, Emerging Research and Innovations in Civil Engineering* (ERICE - 2019). 2019. p. 11-14.
4. Ballard G, Tommelein I, Koskela L, Howell G. Lean construction tools and techniques. *Design and Construction*. 2002. p. 227-255.
5. Nechaeva IM. Implementation of tools and methods of lean construction. Moscow, 2014. Available from: https://www.hse.ru/data/2014/07/07/1312102788/Нечаева%20И.М.%20Внедрение%20инструментов%20и%20методов%20бережливого%20строительства.pdf [Accessed 09 January 2022].
6. Pakidov O. Russian Lean Construction. Available from: http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=15284&compage=1 [Accessed 09 January 2022].
7. Latorre UA, Sanz C, Sánchez B. Application of lean-BIM model to improve design building phase's productivity. *Informes de la construcción.* 2019;71(556):1-9.
8. Sepasgozar SME, Hui FKP, Shirowzhan S, Foroozanfar M, Yang L, Aye L. Lean practices using building information modeling (Bim) and digital twinning for sustainable construction. *Sustainability* (Switzerland). 2021;13(1):161. https://doi.org/10.3390/su13010161.
9. Evans M, Farrell P, Zewein W, Mashali A. Analysis framework for the interactions between building information modelling (BIM) and lean construction on construction mega-projects. *Journal of Engineering, Design and Technology*. 2021;19(6):1451-1471. https://doi.org/10.1108/JEDT-08-2020-0328.
10. Gómez-Sánchez JM, Ponz-Tienda JL, Romero-Cortés JP. Lean and BIM Implementation in Colombia: Interactions and Lessons Learned. *Proc. 27th Annual Conference of the International. Group for Lean Construction (IGLC)*. Dublin, 2019. p. 1117-1128. https://doi.org/10.24928/2019/0150.
11. Kuznetsova EV, Popov DA. Implementation of innovative construction management methods. *Universitetskii kompleks kak regional'nyi tsentr obrazovaniya, nauki i kul'tury: materialy Vserossiiskoi nauchno-metodicheskoi konfe-rentsii (s mezhdunarodnym uchastiem*) (Orenburg, 23–25th January 2020). Orenburg, 2020. p. 255–259. (In Russ.).
12. Huang X. Application of BIM Big Data in Construction Engineering Cost. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021;1865:32016. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1865/3/032016.
13. Mahmood A, Abrishami S. BIM for lean building surveying services. *Construction Innovation.* 2020;20(3):447-470. https://doi.org/10.1108/CI-11-2019-0131.
14. Postnov KV, Stepin PA. Concept of lean production as an efficient method of production resources smart use on construction organizations. *Nauchnoe obozrenie.* 2017;6:144-148. (In Russ.).
15. Daniel EI, Pasquire C, Dickens G. Exploring the implementation of the Last Planner® System through IGLC community: twenty one years of experience. *Proc. 23rd Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction* (Perth, Australia, July 29-31 2015). Perth, 2015. p. 153-162.

16. Taiichi Ohno. Toyota Production system: Beyond Large Scale Production. Moscow: IKSI, 2008. 208 p. (In Russ.).
17. Choo HJ, Tommelein ID. Work Move Plan: database for distributed planning and coordination // Proceedings 8th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC-8), 17–19 July, Brighton, UK. 2000. URL: www.sussex.ac.uk/spru/imichair/iglc8/08.pdf [Accessed 09 January 2022].
18. Shirazi B, Langford D, Rowlinson S. Organizational structures in the construction industry. *Construction Management and Economics.* 1996;14(3):199-212.
19. Quick changeover for operators: the SMED system. Moscow: IKSI, 2009. 103 p. (In Russ.).
20. Ballard G, Howell GA, Tommelein ID, Zabelle T. The Last Planner Production System. San Francisco, California, 2007. 81 p.
21. Akel NG, Boyers JC, Tommelein ID, Walsh KD, Hershauer JC. Considerations for streamlining a vertically integrated company: a case study. *Proceedings 9th Annual Conference of the International Group for Lean Construction* (IGLC-9, Singapore, 6 – 8th August 2001). Singapore: National University of Singapore; 2001. p. 1-16.
22. Sbiti M, Beddiar K, Beladjine D, Perrault R, Mazari B. Toward BIM and LPS Data Integration for Lean Site Project Management: A State-of-the-Art Review and Recommendations. *Buildings.* 2021. Vol. 11. p. 196. https://doi.org/10.3390/buildings11050196.
23. Budzulyak BV, Apostolov AA, Seleznev NF, Moiseev LP, Egorov VS. Lean construction approach: Strategic development practices. *Gazovaya promyshlennost'.* 2014;11:10-14. (In Russ.).
24. Alves T da CL, Milberg C, Kenneth DW. Exploring lean construction practices, research, and education. *Proceedings* IGLC-18, July 2010, Technion, Haifa, Israel. Haifa, 2010. p. 435-444.
25. Silva RRL da. Construção Predial Lean – Mapeamento da Cadaia de Valor das Estructuras Metálicas. Rio de Janeiro, 2005. 189 p.

Информация об авторах

Л. Т. Гевара Рада,
аспирант кафедры
строительного производства,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
e-mail: tatis.guevara92@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-1052-2895

В. В. Пешков,
доктор экономических наук, профессор,
заведующий кафедрой экспертизы и управления недвижимостью,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
e-mail: pvv@istu.edu
http://orcid.org/0000-0001-7999-0999

В. И. Мартьянов,
доктор физико-математических наук,
профессор кафедры автомобильных дорог,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
e-mail: martvliv@mail.ru
http://orcid.org/0000-0003-2659-0355

Information about the authors

Leydy T. Guevara Rada,
Graduate Student of the Department
of Construction Production,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,
e-mail: tatis.guevara92@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-1052-2895

Vitaliy V. Peshkov,
Dr. Sci. (Econ.), Professor,
Head of the Department of Expertise
and Real Estate Management,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: pvv@istu.edu
https://orcid.org/0000-0001-7999-0999

Vladimir I. Mart'yanov,
Dr. Sci. (Phys. – Math.),
Professor of the Department of Highways,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: martvliv@mail.ru
http://orcid.org/0000-0003-2659-0355

Е. А. Радионова,
аспирант кафедры
строительного производства,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
e-mail: katya.love10@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-0073-7892

Ф. Г. Бужеева,
аспирант кафедры
строительного производства,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
e-mail: buzheevaf@istu.edu
https://orcid.org/0000-0001-9618-7623

Е. В. Сайбаталова,
магистрант,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
e-mail: sayb@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-5220-5030

Katerina A. Radionova,
Graduate Student of the Department
of Construction Production,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,
e-mail: katya.love10@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-0073-7892

Faina G. Buzheeva,
Graduate Student of the Department
of Construction Production,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,
e-mail: buzheevaf@istu.edu
https://orcid.org/0000-0001-9618-7623

Elena V. Saibatalova,
Master's Degree Student,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,
e-mail: sayb@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-5220-5030

Вклад авторов

Гевара Рада Л. Т., Пешков В. В., Мартьянов В. И., Радионова Е. А., Бужеева Ф. Г., Сайбаталова Е. В. имеют равные авторские права. Гевара Рада Л. Т. несет ответственность за плагиат.

Contribution of the authors

Guevara Rada L. T., Peshkov V. V., Mart'yanov V. I., Radionova E. A., Buzheeva F. G., Saibatalova E. V. have equal author's rights. Guevara Rada L. T. 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.

Статья поступила в редакцию 10.01.2022.
Одобрена после рецензирования 08.02.2022.
Принята к публикации 09.02.2022.

The article was submitted 10.01.2022.
Approved after reviewing 08.02.2022.
Accepted for publication 09.02.2022.

Научная статья
УДК 697,1
https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-82-89

Оценка возможности применения расчета тепловой мощности системы отопления с помощью программного комплекса *Autodesk Revit*

© Мария Викторовна Мороз, Маргарита Михайловна Витязева
Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия
Автор, ответственный за переписку: Мороз Мария Викторовна, morozmariyav@gmail.com

Аннотация. В связи с Постановлением Правительства Российской Федерации от 15 сентября 2020 г. № 1431 и утверждением плана мероприятий (дорожной карты) по развитию строительной отрасли появилась необходимость использования программных комплексов для трехмерного моделирования при проектировании жилых и общественных зданий и сооружений, финансируемых с привлечением федеральных и муниципальных средств. При проектировании инженерных систем таких зданий программный комплекс *Revit* позволяет производить расчет тепловой мощности системы отопления на основании информационной модели в автоматическом режиме. В связи с этим возникает необходимость сравнительной оценки результатов автоматизированного расчета и ручного, выполненного в соответствии с нормативной документацией, принятой в России, и выявления возможностей их использования для дальнейшего проектирования системы отопления здания. На примере одноэтажного жилого дома, расположенного в г. Иркутске, был произведен расчет тепловой мощности системы отопления здания с помощью программного комплекса *Revit* и по общепринятой методике. При проведении сравнительного анализа результатов сделан вывод о недостаточной точности автоматизированного расчета. Использование данных результатов может привести к завышению капитальных затрат на строительство и энергопотребление здания. Причинами этого может являться недостаточность атрибутивной информации семейств окон и дверей, разработанных непосредственно заводами-изготовителями, в связи с чем программный комплекс не воспринимает данные семейства как часть конструктивной составляющей информационной модели, но также не исключена возможность системной ошибки в программе при оценке данного элемента, что искажает дальнейший расчет информационной модели.

Ключевые слова: BIM-технологии, информационная модель здания, Autodesk REVIT, программный комплекс, BIM-моделирование, методика расчета теплопотерь, сравнительный анализ

Для цитирования: Мороз М. В., Витязева М. М. Оценка возможности применения расчета тепловой мощности системы отопления с помощью программного комплекса *Autodesk Revit* // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 1. С. 82–89. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-82-89.

Original article

Assessment of the possibility of calculating the thermal performance of building heating systems using the *Autodesk Revit* software package

Mariya V. Moroz, Margarita M. Vityazeva
Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia
Corresponding author: Mariya V. Moroz, morozmariyav@gmail.com

Abstract. In connection with the Decree of the RF Government No. 1431 dated September 15, 2020, and the approval of the action plan (roadmap) for the development of the construction industry in Russia, the use of software systems for three-dimensional modelling in the design of residential and public buildings funded by federal and municipal funds has become a necessity. When designing engineering systems for such buildings, the Revit software package allows the thermal performance of heating facilities to be calculated based on an information model in automatic mode. In this regard, a comparative assessment of automated and manual calculations performed in accordance with the regulatory docu-

mentation adopted in Russia is required in order to identify the possibility of their use for designing efficient heating systems. On the example of a one-story residential building located in the city of Irkutsk, the thermal performance of the heating system was calculated using both the Revit software package and according to the generally accepted methodology. A comparative analysis of the results showed the insufficient accuracy of automated calculations. Therefore, the use of automated calculations can lead to the overestimated capital costs of construction and energy consumption of the building. The reasons for this inaccuracy may be associated with a lack of attributive information about the families of windows and doors developed by manufacturers. As a result, the software package fails to perceive these families as part of the constructive component of the information model. However, the possibility of a system error in the Revit software package, which may distort further calculations, should not be ignored.

Keywords: BIM technologies, building information model, Autodesk REVIT, software package, BIM modeling, heat loss calculation method, comparative analysis

For citation: Moroz M. V., Vityazeva M. M. Assessment of the possibility of calculating the thermal performance of building heating systems using the *Autodesk Revit* software package. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(1):82-89. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-82-89.

Введение

Информационное моделирование зданий и сооружений на сегодняшний день является чрезвычайно актуальным[1]. Появляется понятие жизненного цикла здания, которое включает в себя все этапы существования объекта, начиная со стадии проектирования и заканчивая его демонтажем [1]. Информационная модель (Building information model – BIM) – модель, которая помимо графического представления имеет в своем составе атрибутивную информацию в виде элементов и параметров, которые описывают ее исходя из определенных требований BIM-процесса [2, 3]. Основная польза BIM-проектирования – оптимизация процесса строительства, исключение коллизий, ошибок и разночтений между различными частями проектной документации, управление и контроль за графиком выполнения работ, расходованием средств и материалов. При создании информационной модели здания важно понять, что оно представляет собой в реальном мире, какие параметры (информация) важны для проектирования и строительства, чтобы обеспечить его точное представление в виртуальной среде [4, 5]. За графическое представление модели отвечает уровень графической детализации (LOD G), а за информативное – уровень атрибутивной информации (LOI). Программные комплексы для 3-мерного моделирования имеют возможность автоматизированного расчета многих параметров. В данной работе рассмотрим расчет тепловой мощности системы отопления здания, который влияет на дальнейшее энергопотребление [6].

На сегодняшний день наиболее удобной в использовании для построения инженерных систем в комплексе с архитектурой и конструкциями здания является *Autodesk REVIT* – программа, позволяющая построить информационную модель в среде многомерного проектирования и дающая возможность совместной работы инженерам из различных разделов [7, 8]. Инженеры-проектировщики, используя этот программный комплекс, сталкиваются с проблемой несоответствия результатов, полученных посредством расчета, автоматически выполняемого программой, и ручного расчета. Возникает необходимость разобраться в данной проблеме и сравнить результаты расчетов тепловой мощности системы отопления, выполненных в программе *REVIT* и по традиционным методикам. Опираясь на российские нормативы, необходимо понять, насколько точные и правильные результаты выдает программный комплекс.

Для осуществления данной задачи на

[1]Об 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: Постановление Правительства РФ от 15 сентября 2020 г. N 1431;
План мероприятий (дорожная карта) по реализации Стратегии развития строительной отрасли Российской Федерации до 2030 года. URL: https://www.dokipedia.ru/document/5346136 (20.01.2022).

первоначальном этапе необходимо выстроить информационную модель самого здания, которая включает в себя все основные элементы конструкций, такие как: ограждающие и светопрозрачные конструкции, входные двери.

Методы

Методика данного расчета основана на построении информационной модели одноэтажного здания, включающей в себя все составные части конструкции, а также учитывающей разделение одного этажа здания на 3 помещения разного размера для чистоты эксперимента (рис. 1). Методика расчета основана на СП 50.13330.2012, а также на автоматическом расчете отопительной нагрузки программного комплекса *Revit* [9].

Теплотехнический расчет сводится к вычислению коэффициентов теплопередачи наружных ограждающих конструкций жилого здания: стен, чердачного перекрытия (бесчердачного покрытия для здания с плоской кровлей), остекления и входной двери в здание. Материалы и их свойства приняты общими для ручного и автоматического расчета (табл. 1). Программный комплекс *Revit* автоматически рассчитывает сопротивление теплопередачи ограждающих конструкций (*R*) и указывает их в таблице с данными [10].

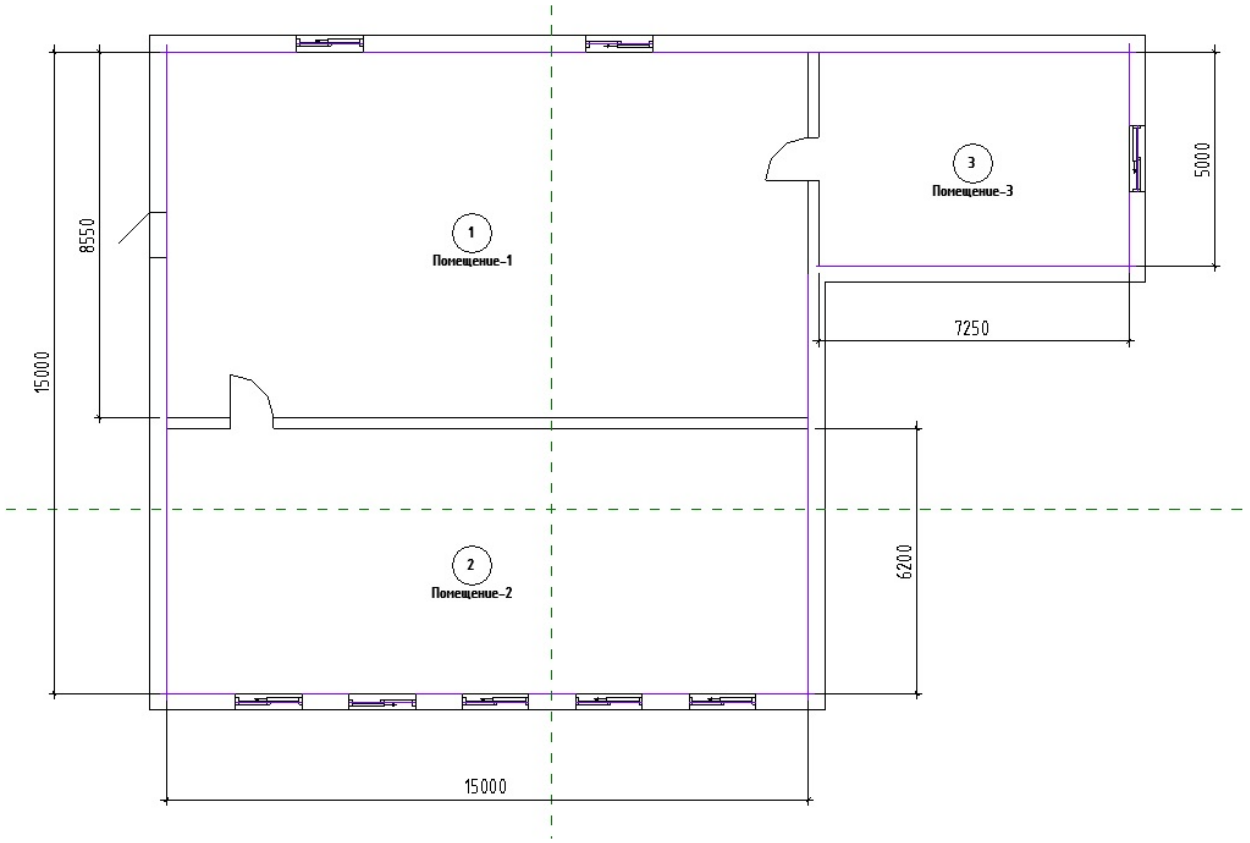


Рис. 1. Двухмерный план здания
Fig. 1. 2D building plan

Таблица 1. Характеристики ограждающих конструкций из информационной модели *Revit*
Table 1. Structural characteristics from the *Revit* information model

Категория	Аналитическая конструкция
Крыши	Легкий бетон – 4 дюйма (R = 1,2750 Вт/(м^2·К))
Наружные стены	Блок из легкого бетона – 8 дюймов (R = 0,8108 Вт/(м^2·К))
Внутренние стены	Каркасная перегородка, гипсокартон – 3/4 дюйма (R = 1,4733 Вт/(м^2·К))
Потолки	Легкий бетон – 8 дюймов (R = 1,3610 Вт/(м^2·К))
Перекрытия	Со сплошным основанием без изоляции (R = 07059 Вт/(м^2·К))
Двери	Металл (R = 3,7021 Вт/(м^2·К))
Наружные окна	Большие окна с двойным остеклением (зеркальное покрытие) (R = 2,9214 Вт/(м^2·К))

При ручном расчете систем отопления теплотехнический расчет ограждающих конструкций заключается в определении градусосуток отопительного периода (ГСОП) и расчете приведенного сопротивления теплопередаче[2] (табл. 2):

ГСОП = $(t_в - t_{о.п.}) \cdot z_{о.п.}$ = 233 * (21 + 7,6) = = 6663,8 °С·сут.

Для определения необходимого количества тепла теплотехнический расчет выполняется по методике, приведенной в источниках[3] [9], на основании характеристик ограждающих конструкций, указанных выше. Результат расчета представлен в табл. 3.

Таблица 2. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче
Table 2. Calculation of reduced heat transfer resistance

Наименование ограждения	Формула	Приведенное сопротивление теплопередаче, (м²·°С)/Вт	Коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·°С)
Стена	1,2 + 0,0003·ГСОП	3,199	0,31
Дверь	0,6 · (1,2 + 0,0003 · ГСОП)	1,92	0,52
Окно	0,2 + 0,00005 · ГСОП	0,53	1,88
Потолок, пол	1,6 + 0,0004 · ГСОП	4,27	0,23

Таблица 3. Результат расчета теплопотерь здания
Table 3. The result of calculating the heat loss of the building

Наименование помещения	Наименование ограждения	Площадь, м²	Теплопотери через ограждение, Вт	Суммарные теплопотери, Вт
Помещение 1	Наружная стена 1	23,2	829,2	5433,3
	Наружная стена 2	39,9	757,9	
	Окно	5,2	387,	
	Входная дверь	2,4	45,98	
	Подвальное перекрытие	129,0	1870,0	
	Чердачное перекрытие	129,0	1533,0	
Помещение 2	Наружная стена 1	18,6	632,1	4301,01
	Наружная стена 2	34,8	661,1	
	Наружная стена 3	18,6	968,55	
	Окно	12,75	353,1	
	Подвальное перекрытие	93,0	1356,0	
	Чердачное перекрытие	93,0	1105,0	
Помещение 3	Наружная стена 1	15,0	394,4	2181,6
	Наружная стена 2	11,6	220	
	Наружная стена 3	21,8	193,6	
	Окно	2,6	413,6	
	Подвальное перекрытие	36,3	529	
	Чердачное перекрытие	36,3	431	

Общие потери теплоты в данном расчете учитывают инфильтрационные потери и бытовые теплопоступления. Для расчета в программном комплексе необходимо задать состав элементов информационной модели, включающий элементы ограждающих и светоотражающих конструкций и дверей, влияющие на расчет (рис. 2). После этого появляется возможность расчета данной модели в автоматическом режиме. Для этого необходимо уточнить в программе месторасположение данного здания (рис. 3). Далее программа предлагает скорректировать температуру наиболее холодной пятидневки в соответствии с СП 131.1330.2020[4], т.к. программный комплекс определяет эти параметры из данных ближайших гидрометеостанций, что влечет за собой искажение расчетов (рис. 4).

[2]СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий: введ. 01.07.2013. М., 2012. 100 с.
[3]Малявина Е. Г. Теплопотери здания: справ. пособ. М.: АВОК-ПРЕСС, 2007. 141 с.; Богословский В. Н., Сканави А. Н. Отопление: учеб. для вузов. М.: Стройиздат, 1991. 735 с.
[4]СП 131.1330.2020. Строительная климатология: введ. 25.06.2021. М., 2020. 153 с.

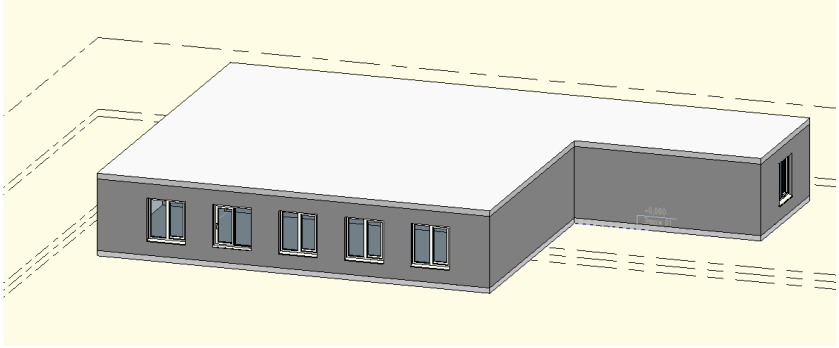


Рис. 2. Объемная модель здания
Fig. 2. Volumetric model of the building

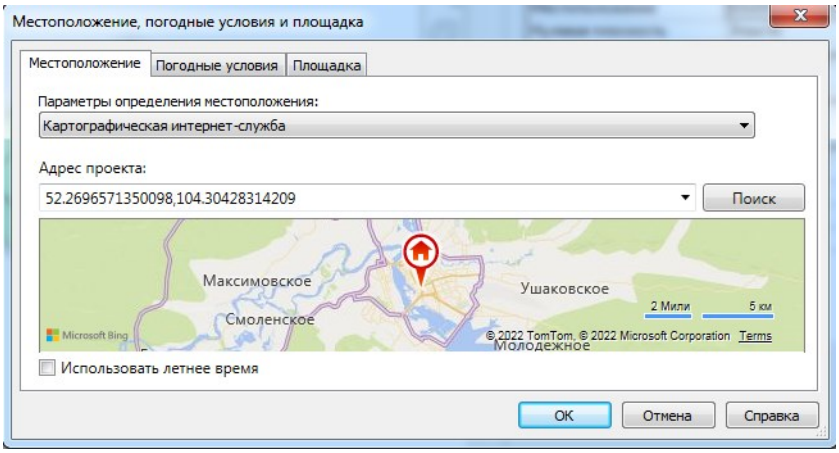


Рис. 3. Уточнение месторасположения в программном комплексе *Revit*
Fig. 3. Clarification of the location in the Revit software package

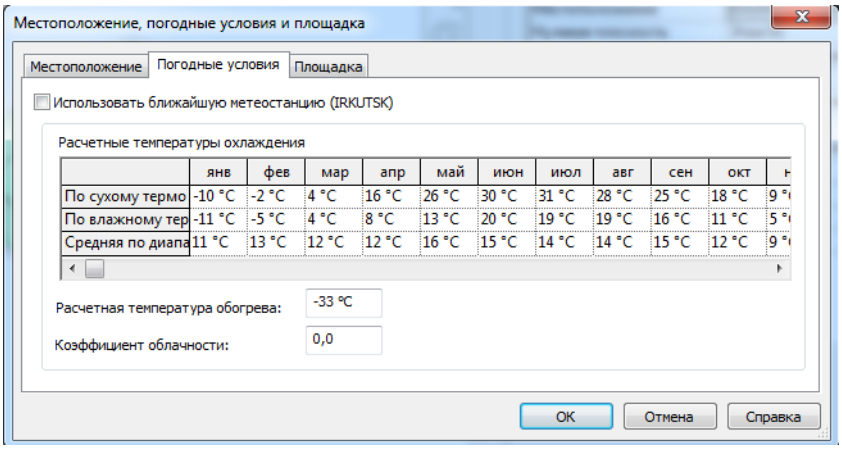


Рис. 4. Уточнение температуры наиболее холодной пятидневки
Fig. 4. Refinement of the temperature of the coldest five-day period

Также необходимо указать внутреннюю температуру помещений[5], и можно вывести расчет отопительных и холодильных нагрузок, в котором пиковая отопительная нагрузка соответствует расчетным значениям теплопотерь помещений.

В табл. 4 приведен отчет расчета в том виде, в котором его выдает программа [11].

Результаты и их обсуждение

Результаты выполненных расчетов, ручного и основанного на методике построения информационной модели, позволяют сделать

[5]ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях: введ. 01.01.2013. М.: СантехНИИпроект, 2013. 12 с.

вывод о возможности их применения для дальнейшего проектирования системы отопления жилого здания. Расхождения между полученными величинами тепловых потерь здания составили в среднем 1000–1500 Вт, что показывает, что программный комплекс завышает теплопотери для данного здания. При детальном разборе расчетов *Revit* были обнаружены расхождения, приведенные в табл. 5.

Таблица 4. Отчет расчета отопительных и холодильных нагрузок в программном комплексе *Revit*
Table 4. Report of calculation of heating and cooling loads in the *Revit* software package

Пространство	Площадь	Объем, м^3	Пиковая холодильная нагрузка, Вт	Расход воздуха при охлаждении, м^3/ч	Пиковая отопительная нагрузка, Вт	Расход воздуха при отоплении, м^3/ч
Помещение-1	128,25	384,75	1 586	353	5 410	384,75
Помещение-2	93,0	279,0	1 016	226	7 100	279,0
Помещение-3	36,25	108,75	234	52	3 848	108,75

Таблица 5. Детальный обзор расчета в программном комплексе *Revit*
Table 5. A detailed overview of the calculation in the *Revit* software package

Компоненты	Охлаждение		Отопление	
	Нагрузки, Вт	В процентах от полной величины	Нагрузки, Вт	В процентах от полной величины
Стена	–367	–23,16	3398	62,8
Окно	2	0,14	880	16,27
Дверь	0	0	0	0
Крыша	0	0	0	0
Световой люк	0	0	0	0
Перегородка	0	0	0	0
Инфильтрация	–90	–5,64	1132	20,93
Освещение	754	47,52	–	
Мощность	1077	67,89		
Количество человек	210	13,25		
Служебное пространство	0	0		
Всего	*1586*	*100*	*5410*	*100*

В табл. 5 представлены сведения о помещении 1, в котором расположены два окна и одна наружная входная дверь. По этим данным можно судить о том, что расчет теплопотерь в программном комплексе *Revit* не учитывает заполнение оконного проема и, соответственно, завышает теплопотери данной ограждающей конструкции практически двукратно для одного оконного проема. Дверь программа не учитывает как элемент, через который происходят большие теплопотери. Соответственно, данный расчет не является достаточно точным. Возможно, это связано также с семействами окон и дверей, которые были применены в данной информационной модели, хотя эти семейства были приняты в соответствии с заводской конфигурацией оконных проемов, предоставленных официальным поставщиком[6]. Соответственно, описанные проблемы не будут редкими при расчетах многоэтажных зданий, выполненных с помощью информационного моделирования. Данный метод подходит для укрупненного расчета тепловых потерь здания и для первичной оценки нагрузки на систему отопления.

Заключение

На основании сравнения методик расчетов, проведенных с помощью программы для информационного моделирования и по общепринятой методике, приведенной в учебной и нормативной литературе, можно сделать следующие выводы:

1. Автоматизированный метод расчета в программном комплексе *Revit* подходит для укрупненного расчета теплопотерь здания и нагрузки на систему отопления, но не может являться основанием для дальнейшего проектирования системы.

[6]Revit Interface // Bimobject. URL: https://app-bo-portal-prod-northeurope.azurewebsites.net/ru/schueco/product/schueco_revit_interface (20.01.2022).

2. Семейства окон и дверей могут неверно учитываться в автоматическом расчете в связи с неправильностью их атрибутивной информации (уровня LoI).

3. Ручной расчет теплопотерь все же является более точным и надежным для оценки нагрузки на систему отопления, его применение приводит к снижению капитальных затрат на строительство и энергопотребление многоквартирных жилых домов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Васильева А. Ю. Цифровой двойник здания: сущность, возможности, преимущества, источники эффективности // Фотинские чтения - 2021 (весеннее собрание): мат-лы VIII Междунар. науч.-практ. конф. (Ижевск, 25–27 марта 2021 года). Ижевск: Издательство УИР ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2021. С. 40–45.
2. Ямпольский А. А. Революции в проектировании [Электронный ресурс] // Электронный журнал “ISICAD”. URL : https://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=13992 (20.01.2022).
3. Лямцева И. Н., Купрюшина А. О. Внедрение современных цифровых технологий в строительной отрасли // Экономическая политика и ресурсный потенциал региона: сборник статей IV Всероссийской научно-практической конференции (Брянск, 20 апреля 2021 года). Брянск: Брянский государственный инженерно-технологический университет, 2021. С. 233–236.
4. Голдберг Э. Для архитекторов: 2009–2010. М.: ДМК-пресс, 2010. 472 с.
5. Ошкина Л. М., Асташов А. М. Использование информационных технологий проектирования в процессе обучения студентов архитектурных профилей // Сборник научных трудов Sworld. 2013. Т. 6. № 3. С. 20–25.
6. Талапов В. И. Технология BIM: расходы на внедрение и доходы от использования [Электронный ресурс] // Электронный журнал “ISICAD”. URL: http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=16748 (20.01.2022).
7. Киевский И. Л., Крутяков А. Ю., Иванова О. А., Читаев А. Ю., Мыкытив И. П. Опыт использования отечественных и импортных BIM-продуктов при проектировании жилых зданий // Промышленное и гражданское строительство. 2020. № 11. С. 42–48. https://doi.org/10.33622/0869-7019.2020.11.42-48.
8. Борисов М. П., Вавин А. А., Уткина В. Н. Современные автоматизированные системы Revit и Renga для информационного моделирования зданий [Электронный ресурс] // Огарёв-Online. 2020. № 3 (140). С. 1. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-avtomatizirovannye-sistemy-revit-i-renga-dlya-informatsionnogo-modelirovaniya-zdaniy (20.01.2022).
9. Суханова И. И., Гнедых В. С., Демшина Д. А. Анализ гидравлического и аэродинамического расчетов систем отопления и вентиляции на основе BIM-моделирования // Инженерный вестник Дона. 2019. № 9 (60). С. 6.
10. Girginkaya A. S., Maqsood U. A roadmap for BIM adoption and implementation in developing countries: the Pakistan case // International Journal of Architectural Research Archnet-IJAR. 2020. Vol. 14 (1). P. 112-132. https://doi.org/10.1108/ARCH-04-2019-0081.
11. Heating, ventilating, and air-conditioning applications / Ashrae. Atlanta, 2001. 857 p.

REFERENCES

1. Vasileva AYu. The digital double of a building: the essence, opportunities, advantages, sources of efficiency. *Fotinskie chteniya – 2021 (vesennee sobranie): materialy VIII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* (Izhevsk, 25–27th March 2021). Izhevsk: Izdatel'stvo UIR IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova; 2021. p. 40-45. (In Russ.).
2. Yampolsky AA. Revolutions in design. *Electronic journal “ISICAD”.* Available from: https://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=13992 [Accessed 20th January 2022]. (In Russ.).
3. Lyamtseva IN, Kupryushina AO. Implementation of modern digital technologies in the construction industry. *Ekonomicheskaya politika i resursnyi potentsial regiona: sbornik statei IV Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* (Bryansk, 20th April 2021). Bryansk: Bryanskii gosudarstvennyi inzhenerno-tekhnologicheskii universitet; 2021. p. 233-236. (In Russ.).
4. Goldberg E. For architects: 2009-2010. Moscow: DMK-press; 2010. 472 p. (In Russ.).
5. Oshkina LM, Astashov AM. The use of information technologies of design in the process of teaching students of architectural profiles. *Sbornik nauchnykh trudov Sworld.* 2013;6(3):20-25. (In Russ.).
6. Talapov VI. BIM technology: implementation costs and revenues from use. *Electronic journal “ISICAD”.* Available from: http://isicad.ru/ru/

articles.php?article_num=16748 [Accessed 20th January 2022]. (In Russ.).
7. Kievskiy IL, Krutyakov AYu, Ivanova OA, Chitaev AYu, Mykytiv IP. Experience in using domestic and imported bim products when designing residential buildings. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2020;11:42-48. (In Russ.). https://doi.org/10.33622/0869-7019.2020.11.42-48.
8. Borisov MP, Vavin AA, Utkina VN. Modern automated systems Revit and Renga for building information modeling. *Ogarev-Online.* 2020;3(140):1. Available from: https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-avtomatizirovannye-sistemy-revit-i-renga-dlya-informatsionnogo-modelirovaniya-zdaniy [Accessed 20th January 2022]. (In Russ.).
9. Sukhanova II, Gnedykh VS, Demshina DA. Analysis of hydraulic and aerodynamic calculations of heating and ventilation systems based on BIM-modeling. *Inzhenernyi vestnik Dona = Engineering journal of Don*. 2019;9(60):6. (In Russ.).
10. Girginkaya A. S., Maqsood U. A roadmap for BIM adoption and implementation in developing countries: the Pakistan case. *International Journal of Architectural Research Archnet-IJAR*. 2020;14(1):112-132. https://doi.org/10.1108/ARCH-04-2019-0081.
11. Heating, ventilating, and air-conditioning applications. Atlanta, 2001. 857 p.

Информация об авторах

М. В. Мороз,
старший преподаватель
кафедры инженерных коммуникаций
и систем жизнеобеспечения,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: morozmariyav@gmail.com
https://orcid.org/0000-0003-4255-619X

М. М. Витязева,
магистрант,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: margarita.vityazeva@bk.ru
https://orcid.org/0000-0003-2020-6770

Information about the authors

Mariya V. Moroz,
Senior Lecturer, Department of Engineering Communications and Life Support Systems, Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,
e-mail: morozmariyav@gmail.com
https://orcid.org/0000-0003-4255-619X

Margarita M. Vityazeva,
Master's student,
Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,
e-mail: margarita.vityazeva@bk.ru
https://orcid.org/0000-0003-2020-6770

Вклад авторов

Мороз М. В., Витязева М. М. имеют равные авторские права. Мороз М. В. несет ответственность за плагиат.

Contribution of the authors

Moroz M. V., Vityazeva M. M. have equal author's rights. Moroz M. 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.

Статья поступила в редакцию 21.01.2022.
Одобрена после рецензирования 16.02.2022.
Принята к публикации 18.02.2022.

The article was submitted 21.01.2022.
Approved after reviewing 16.02.2022.
Accepted for publication 18.02.2022.

Научная статья
УДК 69.003.12
https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-90-97

Обеспечение процессов контроля качества на всех этапах жизненного цикла объектов капитального строительства в рамках концепции «Строительство 4.0»

© Артем Витальевич Пешков, Мария Витальевна Матвеева, Ольга Андреевна Безруких, Дмитрий Сергеевич Рогов
Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия
Автор, ответственный за переписку: Безруких Ольга Андреевна, olga.bezrukikh11@gmail.com

Аннотация. Цель работы заключается в определении ключевых проблем, препятствующих внедрению технологии «Строительство 4.0» в процессы контроля качества при осуществлении строительных проектов. Методика исследования базировалась на изучении и оценке концепции «Строительство 4.0», применяемой в отечественной и зарубежной практике при проведении процессов контроля качества в строительстве на основе методов комплексного подхода к анализу и учету всех факторов, влияющих на управление качеством строительства. Мировая строительная отрасль проходит этап глобальных преобразований, в процессе которых осуществляется переход от традиционных методов проектирования и строительства к инновационным способам управления строительными проектами, основанным на применении цифровых технологий. Потребность во внедрении данных технологий осознана многими субъектами отрасли России, признана на государственном уровне и поддерживается большим числом национальных проектов и стратегий развития. Ряд проблемных аспектов, таких как искажение информации, необходимой для реализации строительного проекта, увеличение сроков и стоимости данного процесса, отсутствие должного обеспечения контроля качества объектов промышленного и гражданского назначения обусловили необходимость массового перехода к цифровым технологиям проектирования зданий и сооружений. Тренд цифровизации строительной отрасли, в том числе при обеспечении процессов контроля качества, предопределяет необходимость развития научно-методической базы теории управления внедрением передовых технологий. В работе представлена характеристика и основные аспекты реализации концепции «Строительство 4.0» в контексте организации процессов контроля качества в строительстве. Анализ практических примеров обоснования применения цифровых экосистем позволил обеспечить разработку методических основ внедрения комплексной системы управления качеством на основе применения технологий информационного моделирования, что приведет к цифровой трансформации отрасли.

Ключевые слова: цифровизация, технологии информационного моделирования, качество строительной продукции, жизненный цикл здания, объект капитального строительства

Для цитирования: Пешков А. В., Матвеева М. В., Безруких О. А., Рогов Д. С. Обеспечение процессов контроля качества на всех этапах жизненного цикла объектов капитального строительства в рамках концепции «Строительство 4.0» // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 1. С. 90–97. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-90-97.

Original article

Ensuring quality control processes at all stages of the life cycle of capital construction projects under the *Construction 4.0* concept

Artem V. Peshkov, Maria V. Matveeva, Olga A. Bezrukikh, Dmitry S. Rogov
Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia
Corresponding author: Olga A. Bezrukikh, olga.bezrukikh11@gmail.com

Abstract. In this work, we identify the key challenges hampering the implementation of the *Construction 4.0* concept when performing the quality control of construction projects. The research methodology involved a comprehensive study of the *Construction 4.0* concept, which is applied in do-

mestic and foreign practice for supporting quality control processes in construction. An integrated approach to the analysis and accounting of all factors affecting construction quality management was applied. Construction industries in different countries are undergoing massive transformations, shifting from traditional design and construction methods towards innovative ways of managing construction projects based on the use of digital technologies. The need for the introduction of these technologies is recognized by many subjects of the Russian construction industry, recognized at the state level and supported by a large number of national projects and development strategies. Such problematic aspects, as the distortion of the information necessary for the implementation of a construction project, the increase in the time and cost of this process, the lack of proper quality control of industrial and civil facilities, have necessitated a transition towards digital technologies for the design of buildings and structures. The trend of digitalizing the construction industry, including the provision of quality control processes, predetermines the need to develop a scientific and methodological basis for the theory of managing the introduction of advanced technologies. The paper describes the implementation of the *Construction 4.0* concept in the context of organizing quality control processes in construction. An analysis of practical examples of digital ecosystems allowed the authors to develop methodological foundations for the implementation of an integrated quality management system based on information modelling technologies, which could facilitate the digital transformation of the industry.

Keywords: digitalization, information modeling technologies, quality of construction products, building life cycle, capital construction object

For citation: Peshkov A. V., Matveeva M. V., Bezrukikh O. A., Rogov D. S. Ensuring quality control processes at all stages of the life cycle of capital construction projects under the *Construction 4.0* concept. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(1):90-97. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-90-97.

Введение

Промышленные революции влекут за собой радикальные изменения в базовых технологиях, тем самым определяя новые этапы в развитии всех отраслей народного хозяйства. Во всем мире традиционная строительная отрасль переживает цифровую трансформацию, ускоренную экспоненциально растущими технологиями. Стратегическое направление в области цифровой трансформации строительного сектора Российской Федерации подкреплено законодательными документами, такими как: Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27 декабря 2021 г. № 3883-р, Постановление Правительства РФ от 15 сентября 2020 года №1431 и др.[1]. Субъектам строительной отрасли и их процессам необходимо адаптироваться к быстрым изменениям с целью обеспечения своей конкурентоспособности на рынке. В начале 2015 года в мире начала развиваться Четвертая промышленная революция, также известная как Индустрия 4.0, главным направлением которой является переход к цифровизации, автоматизации производственной среды. Индустрия 4.0 изменяет парадигмы управления строительством, поскольку она преобразовывает технологические и инновационные процессы бизнеса, включая их цифровую составляющую.

Строительство является крупнейшей отраслью народного хозяйства, решающей множество задач как государственного, так и социального характера. Процессы строительства являются комплексными и многоаспектными по причине наличия большого количества требований и правил, которым должны соответствовать технология и качество строительных процессов [1]. Следовательно, существует большая потребность во внедрении инструментов автоматизации, которые могут обеспечить непрерывный процесс контроля качества в отрасли. Процессы контроля качества в строительстве не только зависят от использования передовых технологий производства, но и нуждают-

[1]Об 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: Постановление Правительства РФ от 15 сентября 2020 г. № 1431;
Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации строительной отрасли, городского и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации до 2030 года: Распоряжение Правительства РФ от 27.12.2021 N 3883-р.

ся в обеспечении своевременной и эффективной информацией, которую можно получить при внедрении технологии информационного моделирования.

Методы

Внедрение различных конфигураций информационных технологий в процессы осуществления инвестиционно-строительного проекта, в том числе при обеспечении контроля строительства, рассматривались такими отечественными и зарубежными учеными, как Н. В. Долгушева, А. Н. Кириллова, Ральф К. Шлепфер, С. Рао и др. [2, 3]. Исследования, начиная с академических работ и заканчивая прикладными, были сосредоточены на изучении точечного внедрения процесса цифровой трансформации. Однако именно отсутствие комплексного подхода к технологичному развитию строительной отрасли не позволяет фокусироваться на перспективах, которые позволят обеспечить внедрение инновационных разработок на протяжении всего жизненного цикла продукта, начиная с концепции разработки, планирования и организации строительства и заканчивая техническим обслуживанием, а также обеспечением контроля качества. В связи с этим целью исследования является изучение основных проблем, характерных для строительных проектов, которые сдерживают развитие информационных технологий в рамках периода Индустрии 4.0. при реализации данных проектов, в том числе в процессах обеспечения строительного контроля.

Результаты и их обсуждение

Индустрия 4.0 – это текущая развивающаяся среда, в которой главное место занимают революционные технологии. Этот термин относится к Четвертой промышленной революции, включающей в себя растущие технологические тенденции. С появлением Индустрии 4.0 сектор искусственной среды также получил возможность перейти к более продуктивному производству, основанному на эффективных бизнес-моделях и цепочках создания стоимости. Цифровым технологиям уделяется все больше внимания после развития концепций цифровизации и автоматизации в Индустрии 4.0 [4]. В то время как основа Индустрии 4.0 во многих отраслях опирается на технологии, которые обеспечивают повсеместную связь и децентрализованное принятие решений в режиме реального времени, строительный сектор не ограничивается этими технологиями, а скорее ориентирован на более широкий спектр развития. Возможности, предоставляемые принципами и компонентами Индустрии 4.0, переведены в стратегическую, тактическую и операционную парадигму – Строительство 4.0. Перспективы развития строительной отрасли в рамках данной концепции заключаются в полной автоматизации всего жизненного цикла проекта за счет использования цифровых двойников на каждом этапе, от планирования до эксплуатации, включая проектирование, строительство и контроль качества. Ключевыми технологиями индустрии «Строительство 4.0» являются BIM-технологии, облачные вычисления, мобильные вычисления, смешанная реальность (MR), киберфизические системы (CPS), робототехника, Интернет вещей. Реализацию концепции «Строительство 4.0» целесообразно осуществлять при сочетании трех трансформационных процессов: преобразования продукта, цифровой трансформации и изменения процессов реализации проектов и связанных с ними бизнес-процессов. Для того чтобы в полной мере воспользоваться преимуществами рассматриваемой концепции, необходимо проводить одновременное развитие экосистем, основанных на продуктовых платформах. В строительной отрасли описанный путь трансформации уже начался, сегодня отрасль осуществляет переход от подхода, основанного на моделях, к подходу, в большей степени ориентированному на модели. Следующим этапом цифровой трансформации является переход к интегрированному, синхронному и совместному моделированию. Как только этот этап будет реализован, цифровые системы, используемые в отрасли, будут интегрированы с киберфизическими системами, которые позволят создать цифровые двойники.

Все большее число предприятий в эпоху четвертой промышленной революции отдают предпочтение обеспечению организации процессов контроля качества, рассматривая их как важный актив в повышении эффективности предприятий и достижении конкурентных преимуществ. Компании строительного сектора не являются исключением, так как отличительные характеристики отрасли, такие как сложность и масштабность строительных проектов, постоянно растущий спрос на экологически безопасное строительство предопределяют изменение традиционных методов организации процессов контроля качества [5]. Однако строительный сектор в области организации процессов контроля качества по-прежнему значительно отстает от других отраслей с точки зрения автоматизации процессов и уровня их цифровизации. Одной из причин низкой производительности строительной отрасли является отсутствие оцифровки основных процессов и результатов, к которым относят ежедневные отчеты о ходе работ, проектные чертежи, заказы на материа-

лы, журналы использования техники и другие отчетные документы. Из-за отсутствия оцифровки обмен информацией задерживается и часто не является актуальным для всех субъектов строительного проекта. Неправильное ведение документации также обычно вызывает разногласия между владельцами и подрядчиками по таким вопросам, как ход строительства и управление работами. С целью минимизации этой проблемы концепцией «Строительство 4.0» определены направления для развития технологий цифрового документооборота, автоматизации и мобильности за счет использования технологий информационного моделирования и Интернета вещей. Рассмотрим более подробно применение данных технологий на практических примерах.

На сегодняшний день большинство строительных проектов реализуются без применения технологий информационного моделирования, поэтому вопрос их внедрения на стадии реализации проекта является актуальным. Рассмотрим анализ использования BIM-технологий по отношению к существующему объекту строительства, в котором необходимо применить прижимную силу вследствие изменения процесса и установить новый конденсатор в пространстве крыши, вес которой в 1,5 раза больше по сравнению с предыдущим образцом [6]. В данном случае неполноценная BIM-модель становится достаточной для определения технического решения с целью обеспечения поведенческих структур безопасности, являющихся результатом выполнения конечного предельного состояния и работоспособности. Реализация расчета внутренней силы в пространственном объекте построена на примере математической модели, упрощенный вид которой представлен на рис. 1. Данную модель можно будет использовать для анализа внутренней силы, возникающей в колоннах первого этажа, где ее контролирование будет касаться условий ее изменения в корреляции с запланированной модернизацией конденсаторов технологического вида.

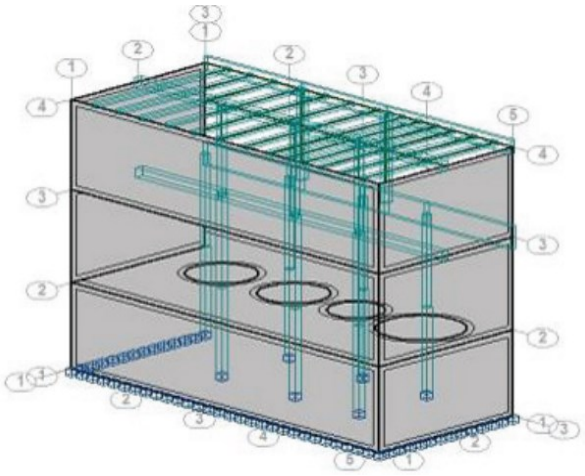


Рис. 1. Модель конструкций с использованием BIM-технологий
Fig.1. Model of structures using BIM technologies

Расчет статики несущих элементов, которые расположены непосредственно на плоской кровле, осуществлялся с применением фактических распределений нагрузок, воздействующих на сборные балки – колонны, щиты, ребра, плиты и подложки. Если принять такую концепцию расчета, с высокой вероятностью достигается предполагаемый эффект утилитарной концепции работы с одновременными удалениями всевозможных ошибок, которые возникают по причине несовершенства численной модели и ограниченности в работе строительной системы, состоящей из различных типовых компонентов. Конструктивный элемент здания обрабатывают способами как неразрушающего контроля, так и пенетрантных испытаний, что одновременно дает возможность проанализировать принятые технические решения на основе сохранившихся фрагментов технических документов из-за использования нетипичных конструктивных решений [7]. Далее внесены изменения в методику расчетов и значения нагрузок на окружающую среду, которые в нынешнем состоянии содержатся в положениях Еврокодов, ограничивающих правильное разъяснение проектной мощности объекта с точки зрения основания применения нового конденсатора. Оптимальное расположение нового конденсатора также требует выполнения модернизации слоев теплоизоляции плоской кровли (рис. 2). Снижения усилия подложки достигают благодаря использованию дополни-

тельных конструкций в роли балок, сформированных непосредственно в зонах поперечных балок и середины подложки. Модель, которая эффективно используется в виде конструктивного решения, представлена на рис. 2.

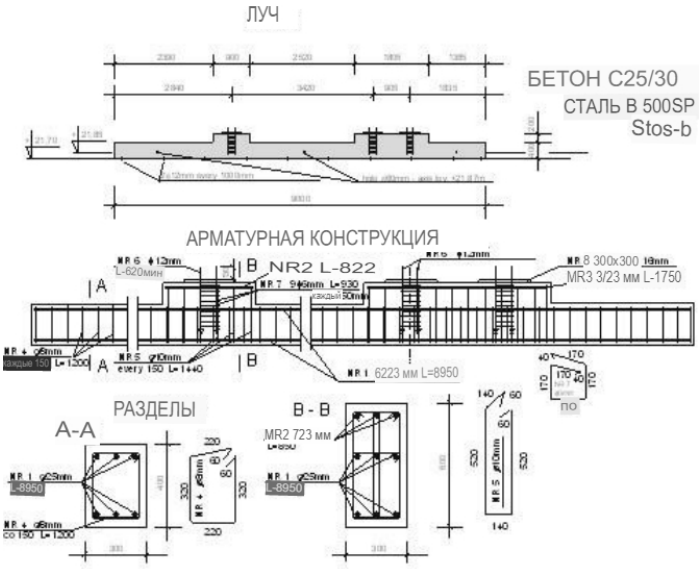


Рис. 2. Решения армирующей конструкции
Fig. 2. Reinforcement solutions

Успешное использование BIM-технологий при реализации новых объектов строительства осуществляется легче, так как уже в процессе проектирования учитывается каждая особенность проектируемых объектов, в отличие от существующих [8, 9].

На практике использование BIM приводит к интегрированию всех стадий производственного процесса и жизнеобеспечения зданий: сборки данных, работ, связанных с проектированием, строительством и использованием аппаратуры, эксплуатации, ремонта и сноса. Это означает, что все необходимые данные можно найти в компьютерных моделях: архитектурные, строительные, технологические, экономические и т.д.

Рассмотрим более подробно использование Интернета вещей в области управления машинами и механизмами на строительной площадке при выполнении строительно-монтажных работ. На строительных площадках используется большое количество строительной техники и выполняется множество строительно-монтажных работ одновременно, что генерирует огромные объемы данных, большинство из которых не фиксируются и не анализируются [10]. Применение на строительной площадке технологии Интернета вещей позволит контролировать производительность и надежность персонала, основные и оборотные средства (таблица).

Области применения Интернета вещей при осуществлении процессов контроля качества на строительной площадке
Applications of the Internet of Things in the implementation of quality control processes at the construction site

Области применения	Характеристика
Ремонт оборудования (мониторинг и оценка необходимости проведения ремонта)	Отслеживание времени работы оборудования посредством установленных датчиков. Кроме того, датчики указывают на необходимость проведения срочного и текущего технического обеспечения [11]
Управление уровнем запасов	Прогноз необходимого уровня запасов ресурсов, необходимых для реализации проекта
Оценка и контроль качества	Установленные датчики вибрации используются для проверки прочности и надежности конструкции на этапе строительства, что позволяет обнаружить несоответствия на ранних этапах [12]
Безопасность	Установленные для сотрудников датчики используются для оповещения и контроля над сотрудниками, их состоянием и работой

Использование Интернета вещей позволит организовать контроль над строительной техникой, оборудованием, материалами, персоналом, что не только обеспечит сбор, регистрацию и аналитику информации, но и позволит управлять безопасностью труда [13].

Таким образом, ключевым направлением применения технологий информационного моделирования является создание банка информации для ее сохранения и преобразования, распоряжения ею и передачи данных между различными субъектами строительного проекта [14].

В конечном виде это позволяет достичь корректности проведения процессов управления информацией на всех этапах жизненного цикла объекта капитального строительства.

Заключение

На уровне строительного предприятия мотивация перехода к использованию технологии «Строительство 4.0» и, в частности, применения технологий информационного моделирования и Интернета вещей заключается в обеспечении каждого этапа жизненного цикла инвестиционно-строительного проекта необходимыми инновационными и технологическими решениями, которые направлены на получение соответствующих выгоды и экономических эффектов, позволяя строительному бизнесу реализовывать инновационные цели развития.

Четвертый технологических прогресс (Индустрия 4.0) и цифровая трансформация, стоящая за ним, предопределяют развитие отраслей во всем мире через внедрение новых технологий с целью поддержания их конкурентоспособности. Хотя строительная отрасль не является лидером этих изменений, она и не является исключением цифровой революции. Возможности, предоставляемые концепцией «Строительство 4.0», могут коренным образом преобразовать отрасль строительства и сделать ее ведущей в области технологических инноваций.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Звонов И. А., Нарежная Т. К., Корнилова Д. Л. Принципы применения адаптируемых модульных проектов на базе информационного моделирования в рамках модернизации зданий образовательных учреждений // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: мат-лы II Междунар. науч.-практ. конф. СПб.: СПбГАСУ, 2019. С. 75–80. https://doi.org/10.23968/BIMAC.2019.013.
2. Суродеев А. В., Терешкин И. П. Основные аспекты внедрения BIM-технологий в России // XLVII Огарёвские чтения (Саранск, 06–13 декабря 2018 года). 2019. С. 216–219.
3. Болотова А. С. Проблемы внедрения технологии информационного моделирования в России // Строительное производство. 2021. № 2. С. 70–80. https://doi.org/10.54950/26585340_2021_2_70.
4. Sawhney A., Riley M., Irizarry J. Construction 4.0: An Innovation Platform for the Built Environment. New York, NY: Routledge, 2020. 526 p.
5. Морозенко А. А. Современные подходы к оценке надежности предприятий, участвующих в реализации инвестиционно-строительных проектов // Научное обозрение. 2017. № 12. С. 123–128.
6. Ahuja R., Sawhney A., Arif M. Developing Organizational Capabilities to Deliver Lean and Green Project Outcomes using BIM // Engineering, Construction and Architectural Management. 2018. Vol. 25 (10). p. 1255-1276. https://doi.org/10.1108/ECAM-08-2017-0175.
7. Кужакова З. У. Обзор нормативной документации в области BIM-моделирования в российской федерации // Вестник ЮУрГУ. Серия: Строительство и архитектура. 2020. № 20 (3). С. 70–79.
8. Koscheyev V., Hakimov A. Russian practice of using digital technologies in public procurement management in the construction industry // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 497. p. 012009.
9. Vasilev A. V. Quality Control of Highly Specialized Works During Construction // Russian Journal of Construction Science and Technology. 2019. Vol. 5 (1). p. 25-28. https://doi.org/10.15826/rjcst.2019.1.003.
10. Якушев Н. М. Технологии информационного моделирования как фактор повышения конкурентного потенциала проектных организаций // Социально-экономическое управление: теория и практика. 2021. № 1 (44). С. 17–22. https://doi.org/10.22213/2618-9763-2021-1-17-22.
11. Родайкина М. А. Инновационная деятельность современных предприятий инвестиционно-строительной сферы // Вестник Челябинского государственного университета. 2020. № 6 (440). С. 110–116. https://doi.org/10.47475/1994-2796-2020-10613.

12. Абелев М. Ю. Качество строительных работ: нормативы в строительстве // Стандарты и качество. 2018. № 10. С. 94.
13. Орехова С. В., Мисюра А. В. Трансформация бизнес-модели и возрастающая отдача высокотехнологичного предприятия // Вестник Челябинского государственного университета, 2020. № 6 (440). С. 75–85. https://doi.org/10.47475/1994-2796-2020-10609.
14. Bouslah B., Gharbi A., Pellerin R. Joint production, quality and maintenance control of a two-machine line subject to operation-dependent and quality-dependent failures // International Journal of Production Economics. 2018. Vol. 195. p. 210-226. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.10.016.

REFERENCES

1. Zvonov IA, Narezhnaya TK, Kornilova DL. Principles for the use of adaptable modular projects based on information modeling in the modernization of buildings of educational institutions. *BIM-modelirovanie v zadachakh stroitel'stva i arkhitektury: materialy II Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii.* St. Petersburg, 2019. p. 75-80. (In Russ.).
https://doi.org/10.23968/BIMAC.2019.013.
2. Surodeev AV, Tereshkin IP. The main aspects of the introduction of BIM technologies in Russia. *XLVI IOgarovskiye chteniya* (Saransk, 06–13th December, 2018). 2019. p. 216-219. (In Russ.).
3. Bolotova AS. Problems of the implementation of BIM technologies in Russia. *Stroitel'noye proizvodstvo = Construction production.* (In Russ.) 2021;2:70-80. https://doi.org/10.54950/26585340_2021_2_70.
4. Sawhney A, Riley M, Irizarry J. Construction 4.0: An Innovation Platform for the Built Environment. New York, NY: Routledge; 2020. 526 p.
5. Morozenko AA. Modern approaches to assessing the reliability of enterprises involved in the implementation of investment and construction projects. *Nauchnoye obozreniye*. 2017;12:123-128. (In Russ.).
6. Ahuja R, Sawhney A, Arif M. Developing Organizational Capabilities to Deliver Lean and Green Project Outcomes using BIM. *Engineering, Construction and Architectural Management*. 2018;25(10):1255-1276.
https://doi.org/10.1108/ECAM-08-2017-0175.
7. Kuzhakova ZU, Baiburin AKh. Review of the BIM regulatory documentation in the Russian federation. *Vestnik YuUrGU*. 2020;20(3):70-79. (In Russ.).
8. Koscheyev V, Hakimov A. Russian practice of using digital technologies in public procurement management in the construction industry. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019;497:012009.
9. Vasilev AV. Quality Control of Highly Specialized Works During Construction. *Russian Journal of Construction Science and Technology.* 2019;5(1):25-28.
https://doi.org/10.15826/rjcst.2019.1.003.
10. Yakushev NM. Information modeling technologies as a factor in increasing the competitive potential of design organizations. *Sotsial'no-ekonomicheskoye upravleniye: teoriya i praktika.* 2021;1(44):17-22. https://doi.org/10.22213/2618-9763-2021-1-17-22. (In Russ.).
11. Rodaikina MA. Innovative activity of modern enterprises in the investment and construction sector. *Vestnik Chelyabinskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2020. No. 6 (440). p. 110-116. (In Russ.). https://doi.org/10.47475/1994-2796-2020-10613.
12. Abelev MYu. Quality of construction works: standards in construction. *Standarty i kachestvo.* 2018;10:94.
13. Orekhova SV, Misyura AV. Business model's transformation and increasing results of a high-tech company. *Vestnik Chelyabinskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2020;6(440):75-85. (In Russ.). https://doi.org/10.47475/1994-2796-2020-10609.
14. Bouslah B, Gharbi A, Pellerin R. Joint production, quality and maintenance control of a two-machine line subject to operation-dependent and quality-dependent failures. *International Journal of Production Economics*. 2018;195:210-226. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.10.016.

Информация об авторах

А. В. Пешков,
кандидат экономических наук,
доцент кафедры строительного производства,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: ctroitel@ex.istu.edu
https://orcid.org/ 0000-0002-5027-5120

М. В. Матвеева,
доктор экономических наук,
профессор кафедры экспертизы и управления недвижимостью,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: expertiza@istu.edu
https://orcid.org/0000-0002-9390-5444

О. А. Безруких,
аспирант, ассистент кафедры экспертизы и управления недвижимостью,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: olga.bezrukikh11@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-2301-3205

Д. С. Рогов,
магистрант,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: rdsnps@rambler.ru

Information about the authors

Artem V. Peshkov,
Cand. Sci. (Econ.),
Associate Professor of the Department of building production,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,
e-mail: ctroitel@ex.istu.edu
https://orcid.org/ 0000-0002-5027-5120

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

Olga A. Bezrukikh,
Postgraduate Student, Assistant of the Department of Real Estate Expertise and Management,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,
e-mail: olga.bezrukikh11@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-2301-3205

Dmitry S. Rogov,
Master's Student,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,
e-mail: rdsnps@rambler.ru

Вклад авторов

Пешков А. В., Матвеева М. В., Безруких О. А. и Рогов Д. С. имеют равные авторские права. Безруких О. А. несет ответственность за плагиат.

Contribution of the authors

Peshkov A. V., Matveeva M. V., Bezrukikh O. A., Rogov D. S. have equal author's rights. Bezrukikh O. A. 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.

Статья поступила в редакцию 11.01.2022.
Одобрена после рецензирования 07.02.2022.
Принята к публикации 09.02.2022.

The article was submitted 11.01.2022.
Approved after reviewing 07.02.2022.
Accepted for publication 09.02.2022.

Научная статья
УДК 691-4
https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-98-103

К вопросу контроля усталостных изменений прочности изгибаемых железобетонных элементов

© Борис Израилевич Пинус, Инна Геннадьевна Корнеева
Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия
Автор, ответственный за переписку: Корнеева Инна Геннадьевна, kornee-inna@yandex.ru

Аннотация. Статья посвящена сравнительному анализу возможности оценки усталостных последствий с применением нормативных методов расчета прочности железобетонных элементов при действии изгибающих моментов и продольных сил. Проведен численный эксперимент по вероятностному прогнозу изменения прочности балок различного уровня армирования после циклических воздействий умеренной интенсивности. Приведены результаты расчетов по методам предельных усилий и нелинейным деформационным моделям с использованием статистически представительных опытных данных прочностных и деформативных свойств бетона до и после 50 циклов механических воздействий амплитудой 0,8 и с нулевой асимметрией. Испытывались 2 серии призматических образцов (100 × 100 × 400 мм), изготовленных из бетона. Использован комплекс *Instron 5989*, позволяющий вести в автоматическом режиме нагружения с постоянством скорости деформирования и непрерывной записью контролируемых параметров во всех направлениях. Результаты численного эксперимента получены для балок прямоугольного сечения ($b \times h$ = 100 × 200 мм) с различным уровнем одностороннего армирования (А400, μ = 1…6 %). Установлена предпочтительность прогноза и контроля последствий усталостных процессов с использованием критериев методов нелинейных деформационных моделей.

Ключевые слова: усталость, железобетон, изгиб, циклические воздействия

Для цитирования*:* Пинус Б. И., Корнеева И. Г. К вопросу контроля усталостных изменений прочности изгибаемых железобетонных элементов // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 1. С. 98–103. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-98-103.

Original article

Fatigue strength control of flexural reinforced concrete members

Boris I. Pinus, Inna G. Korneeva
Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia
Corresponding author: Inna G. Korneeva, kornee-inna@yandex.ru

Abstract. The article compares approaches to fatigue effect assessment using standard methods of calculating the strength of reinforced concrete members under the action of bending moments and longitudinal forces. A numerical experiment was carried out using the probabilistic forecast of the change in the strength of variously reinforced beams after cyclic effects of moderate intensity. The calculations performed according to ultimate force methods and nonlinear deformation models are provided using statistically representative experimental data on the concrete strength and deformation properties prior to and following 50 cycles of mechanical impacts with a 0.8 amplitude and zero asymmetry. Two series of concrete prismatic samples (100 × 100 × 400 mm) were tested. The *Instron 5989* complex was used for automated loading of samples with the constant deformation rate and continuous recording of controlled parameters along all directions. A numerical experiment was conducted for beams of a rectangular cross-section (b × h = 100 × 200 mm) with a various level of one-sided reinforcement (A400, μ = 1–6%). It is established that predicting and controlling the effects of fatigue processes should be carried out using the criteria of nonlinear deformation models.

Keywords: fatigue, reinforced concrete, bending, cyclic effects

For citation: Pinus B. I., Korneeva I. G. Fatigue strength control of flexural reinforced concrete members. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(1):98-103. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-98-103.

Введение

Свод правил проектирования бетонных и железобетонных конструкций[1] регламентирует на паритетных условиях два метода расчета прочности нормальных сечений элементов при действии изгибающих моментов и продольных сил: по предельным усилиям (ПУ) и нелинейным деформационным моделям (НДМ). Их практическая реализация сопряжена с коррекцией фактического отклика конструкций на внешние усилия, позволяющей упростить функциональные зависимости параметров внутреннего сопротивления с приемлемой погрешностью прогнозов.

В частности, определение предельных усилий ведется в предположении прямоугольного (равномерного) распределения напряжений в сжатой зоне бетона с ординатой его расчетного сопротивления. Одновременно предполагается (по умолчанию), что потенциал ее сопротивления ограничен по условиям достижения текучести в растянутой арматуре. Подобные предпосылки ведут к уменьшению фактической высоты сжатой зоны, увеличению плеча внутренней пары сил и неопределенности фактических напряжений в арматуре при граничном армировании.

Использование нелинейных деформационных моделей основано на справедливости закона плоских сечений, приемлемость которого в расчетной стадии НДС является проблематичной [1, 2]. Но метод позволяет более адекватно фактическому состоянию учитывать стесненность деформирования бетона изгибаемых и внецентренно нагруженных элементов и, как следствие, повышение потенциала сопротивления.

Принципиальной особенностью обоих методов является принятая (по умолчанию) гипотеза о постоянстве параметров внутреннего сопротивления бетона и арматуры в расчетный срок эксплуатации. Это не соответствует реальности и требованиям ГОСТ Р ИСО 2394-2016[2], что подтверждается усталостной трансформацией структуры, сопутствующими изменениями прочности и деформативности материалов при нестационарных термомеханических воздействиях умеренной (ниже расчетной) интенсивности[3] [3–14]. Ввиду неоднозначности и разнонаправленности методов закономерен вопрос о возможности учета возникающих последствий в рамках существующих нормативных подходов.

Методы

Ниже приводятся результаты вероятностного прогноза прочности изгибаемых элементов, основанного на статистически представительных экспериментальных данных прочностных и деформативных свойств бетона с различной предысторией нагружения. Испытаны призматические образцы (100 × 100 × 400 мм), изготовленные из бетона (Ц:П:Щ:В = 1:1,42:3,57:0,55, Ц = 380 кг/м^3), после 2-месячного твердения в стандартных условиях (серия СН) и после 50 циклов воздействий с амплитудой η = 0,8 и нулевой асимметрией (серия СН$_Ц$). Использован комплекс *Instron 5989*, позволяющий вести в автоматическом режиме нагружения с постоянством скорости деформирования и непрерывной записью контролируемых параметров во всех направлениях. Их выборочные значения при различном уровне обеспеченности представлены в табл. 1.

Для анализа ожидаемых изменений прочности изгибаемых железобетонных элементов с различным армированием был разработан алгоритм, позволяющий использовать экспериментальные диаграммы «σ_b – ε_b» и учитывать фактическое (неравномерное и неоднородное) распределение напряжений по высоте сечения. Использована нормативная методика (пп. 8.1.20–8.1.30 СП 63.13330.2012) многослойной аппроксимации сечений, при которой момент внутреннего сопротивления элемента рассматривается как аналитическая сумма:

$$M = \sum \sigma_{bi}(\varepsilon_i) \cdot A_{bi} \cdot Z_{bxi} + \sum \sigma_{sj}(\varepsilon_j) \cdot A_{sj} \cdot Z_{sxj}, \quad (1)$$

[1]СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения: актуал. ред. СНиП 52-01-2003. М., 2012. 155 с.

[2]ГОСТ Р 2394-2016. Конструкции строительные. Основные принципы надежности. М.: Стандартинформ, 2016. 72 с.

[3]Корчинский И. Л., Беченева Г. В. Прочность строительных материалов при динамических нагружениях: пособ. для проектировщиков. М.: Стройиздат, 1966. 212 с.

где Z_{xbi} и Z_{xsj} – расстояние от нейтральной оси до *i*-го (*j*-го) слоя сечения, м.

В качестве критериального условия разрушения используется неравенство:

$$\varepsilon_b \le \varepsilon_{b,ult}, \quad (2)$$

где ε_b – деформации крайних волокон сечения; $\varepsilon_{b,ult}$ – экспериментально установленная деформация, соответствующая напряжению $0{,}8\sigma_u$ на постпиковом участке диаграмм «$\sigma_b - \varepsilon_b$».

Одновременно определялись значения прочности элементов по нормативной методике предельных усилий.

Таблица 1. Расчетные значения параметров численного моделирования
Table 1. Calculated values of numerical simulation parameters

Контрольный параметр	Значения с обеспеченностью, %						$R_{b\text{Ц}}$ / R_{b0} при обеспеченности		
	Исходное состояние			Постциклическое состояние					
	50	95	99	50	95	99	50	95	99
R_b, МПа	43,6	41,0	39,8	37,4	33,5	31,6	0,86	0,82	0,80
$\varepsilon_{b,ult}$, ‰	3,13	2,77	2,58	2,38	1,82	1,53	0,76	0,66	0,59
ξ_R	0,518	0,496	0,486	0,402	0,365	0,344	0,78	0,74	0,71
E_b, ГПа	–		30,2	–		22,7	–		0,75

Результаты и их обсуждение

Результаты численного эксперимента для балок прямоугольного сечения ($b \times h$ = = 100 × 200 мм) с различным уровнем одностороннего армирования (А400, μ = 1…6 %) приведены в табл. 2 и на рисунке. Они характеризуются высоким (99 %) уровнем статистической обеспеченности и подтверждают возрастающее влияние усталостных последствий на переармированные конструкции. Это проявляется в ощутимом снижении уровня стабилизации несущей способности и различий показателей средних и нормативно ожидаемых значений.

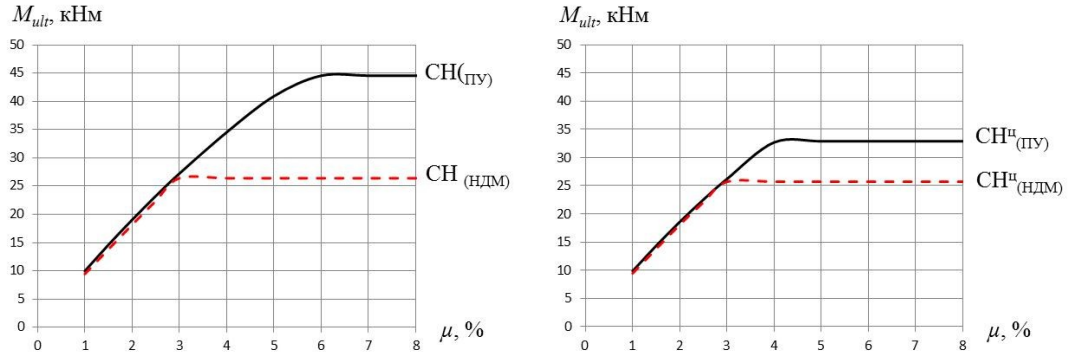
Несомненный интерес представляет собой динамика прочности изгибаемых элементов. На базе проведенных циклических воздействий довольно высокой интенсивности сохраняется стабильность сопротивления балок рассматриваемого диапазона нормального армирования при одновременном 20-процентном снижении призменной прочности бетона, 40-процентном уменьшении граничной высоты сжатой зоны и предельных деформаций бетона.

Учитывая, что результаты расчетов по разным методам практически совпадают при существенных различиях исходных предпосылок, закономерно проанализировать соотношение значимых расчетных параметров сопротивления. С учетом ожидаемых усталостных последствий в качестве таковых рассматриваются высота и площадь сжатой зоны сечений (табл. 3).

Сопоставимость значений параметров прочности элементов и площади сжатых зон при одновременном кратном различии их высоты косвенно свидетельствует о неоднозначности методов в оценке реализуемого потенциала прочности бетона.

Таблица 2. Изменения расчетных параметров прочности сечений
Table 2. Changes in the calculated parameters of cross-section strength

Процент армирования μ, %	По предельным усилиям				По деформационной модели			
	Высота сжатой части x, см	Площадь эпюры A_c, МПа*см	Предельный момент M_{ult}, кНм	Реализация прочности бетона R_b, МПа	Высота сжатой части x, см	Площадь эпюры A_c, МПа*см	Предельный момент M_{ult}, кНм	Реализация прочности бетона R_b, МПа
СН								
1	1,5	59,5	9,97	40,3	6,26	66,34	9,44	11,0
1,5	2,24	89,25	14,62	40,8	7,22	97,07	13,82	14,3
2	2,99	119	19,04	40,9	8,03	128,82	18,15	17,4
2,5	3,74	148,75	23,25	40,9	8,69	160,72	22,38	20,4
3	4,49	178,5	27,23	40,9	9,21	189,4	26,41	23,1
СН$_{Ц}$								
1	1,88	59,5	9,85	32,7	6,01	65,18	9,44	11,2
1,5	2,83	89,25	14,36	32,5	6,95	94,64	13,79	14,7
2	3,77	119	18,58	32,6	7,25	125,93	18,08	18,6
2,5	4,71	148,75	22,53	32,6	8,42	154,21	22,04	20,4
3	5,62	178,5	26,19	32,8	11,41	181,71	25,7	21,3



Изменение прочности балок серий СН (слева) и $СН_Ц$ (справа)
Changing the strength of beams of the SN (on the left) and SNts (on the right) series

Таблица 3. Соотношение расчетных параметров, определенных по методам предельных усилий и нелинейных деформационных моделей
Table 3. Ratio of calculated parameters determined by the "UE" / "NDM" methods (ultimate effort / nonlinear deformation model)

Процент армирования, μ	Исходное состояние			Постциклическое состояние		
	Предельный момент M_{ult}, кНм	Высота сжатой части x, см	Площадь эпюры A_c, МПа·см	Предельный момент M_{ult}, кНм	Высота сжатой части x, см	Площадь эпюры A_c, МПа·см
1	1,06	0,24	0,9	1,04	0,31	0,91
1,5	0,95	0,31	0,92	1,04	0,41	0,94
2	1,05	0,37	0,92	1,03	0,52	0,94
2,5	1,04	0,43	0,92	1,02	0,56	0,97
3	1,03	0,49	0,94	1,01	0,52	0,91

Напряженно-деформированное состояние сжатой зоны балок при действии изгибающих моментов, тождественных $M_{i,ult}$, в предположении равномерного распределения напряжений на установленной высоте x_i подтверждает эту мысль.

При использовании метода предельных усилий такой подход представляет обратную задачу с известным решением ($\sigma = R_b$). Аналогичный прогноз с параметрами метода НДМ показывает (см. табл. 2):

а) существенно меньший уровень усредненных напряжений в сжатой зоне, чем расчетное сопротивление бетона;

б) зависимость используемого потенциала от армирования элемента.

Следовательно, нормально армированные изгибаемые элементы исследуемого состава обладают повышенным потенциалом сопротивления сжатой зоны из-за неравномерности напряженного состояния и способности к перераспределению усилий.

Заключение

Нормативный метод расчета прочности изгибаемых элементов, реализующий ломаную аппроксимацию фактического криволинейного очертания напряжений, позволяет прогнозировать (оценивать) усталостные последствия нестационарных воздействий умеренной амплитуды и частоты.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гвоздев А. А., Дмитриев С. А., Крылов С. М. Новое о прочности железобетона. М.: Стройиздат, 1977. 272 с.
2. Гвоздев А. А., Дмитриев С. А., Гуща Ю. П., Залесов А. С., Мулин Н. М., Чистяков Е. А. Новое в проектировании бетонных и железобетонных конструкций. М.: Стройиздат, 1978. 202 с.
3. Карпенко Н. И. Общие модели механики железобетона. М.: Стройиздат, 1996. 416 с.
4. Маилян Л. Р., Беккиев М. Ю., Силь Г. Р. Работа бетона и арматуры при немногократно повторных нагружениях. Нальчик: КБАМИ, 1984. 55 с.
5. Москвитин В. В. Циклическое нагружение элементов конструкций. М.: Наука, 1981. 344 с.
6. Расторгуев Б. С., Цепелев С. В. Перераспределение усилий в железобетонных кон-

струкциях при малоцикловых воздействиях // Бетон и железобетон. 1989 . № 10. С. 16–18.
7. Рыков Г. В., Обедов В. П., Майоров Е. Ю., Абрамкина В. Т. Экспериментальные исследования процессов деформирования и разрушения бетонов при циклических динамических нагрузках // Строительная механика и расчет сооружений. 1992. № 1. С. 71–76.
8. Беченева Г. В. Прочность бетона при немногочисленных повторных нагружениях // Исследования по сейсмостойкости зданий и сооружений: Труды ЦНИИСК. Вып. 6. 1961. С. 91–118.
9. Кузовчикова Е. А., Яшин А. В. Исследование влияния малоцикловых сжимающих воздействий на деформативность, прочность, и структурные изменения бетона // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1976. № 10. С. 30–35.
10. Ставров Г. Н., Руденко В. В., Федосеев А. А. Прочность и деформативность бетона при повторно-статических нагружениях // Бетон и железобетон. 1985. № 1. С. 33–34.
11. Яшин А. В. Некоторые данные о деформациях и структурных изменениях бетона при осевом сжатии // Новое о прочности железобетона. Москва: Стройиздат, 1977. С. 17–30.
12. Попов Н. Н., Расторгуев Б. С. Расчет железобетонных конструкций на действие кратковременных динамических нагрузок. Москва: Стройиздат, 1964. 151 с.
13. Корчинский И. Л. Несущая способность материалов при немногочисленных повторных нагружениях // Методы расчета зданий и сооружений на сейсмостойкость: сб. статей / под ред. Гольденблата И. И., Быховского В. А. Москва, 1958. С. 97–107.
14. Сергеев С. М., Беккер В. А., Безделев В. В. Моделирование напряженного состояния растворной части вокруг гранул крупного заполнителя бетона при действии на него внешней сжимающей нагрузки // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1982. № 5. С. 21–25.

REFERENCES

1. Gvozdev AA, Dmitriev SA, Krylov SM. New on the strength of reinforced concrete. Moscow: Stroyizdat; 1977. 272 p. (In Russ.).
2. Gvozdev AA, Dmitriev SA, Gushcha YuP, Zalesov AS, Mulin NM, Chistyakov EA. New in the design of concrete and reinforced concrete structures. Moscow: Stroyizdat; 1978. 202 p. (In Russ.).
3. Karpenko NI. General models of reinforced concrete mechanics. Moscow: Stroyizdat; 1996. 416 p. (In Russ.).
4. Mailyan LR, Bekkiev MYu, Sil' GR. The work of concrete and reinforcement with slightly repeated loads. Nalchik: Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V. M. Kokov; 1984. 55 p. (In Russ.).
5. Moskvitin VV. Cyclic loading of construction elements. Moscow: Nauka; 1987. 344 p. (In Russ.).
6. Rastorguev BS, Tsepelev SV. Redistribution of efforts in reinforced concrete structures under low-cycle impacts. *Beton i zhelezobeton*. 1989;10:16-18. (In Russ.).
7. Rykov GV, Obedov VP, Mayorov EYu, Abramkina VT. Experimental studies of the processes of deformation and destruction of concrete under cyclic dynamic loads. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenii = Structural Mechanics and Analysis of Constructions*. 1992;1:71-76. (In Russ.).
8. Becheneva GV. Concrete strength under few repeated loads. *Research on earthquake resistance of buildings and structures: Proceedings of the Central Research Institute.* Vol. 6. 1961. p. 91-118. (In Russ.).
9. Kuzovchikova EA, Yashin AV. Investigation of the influence of low-cycle compressive effects on deformability, strength, and structural changes of concrete. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 1976;10:30-35. (In Russ.).
10. Stavrov GN, Rudenko VV, Fedoseev AA. The strength and deformability of concrete under repeated static loading. *Beton i zhelezobeton*. 1985;1:33-34. (In Russ.).
11. Yashin AV. Some information about the deformations and structural changes of concrete under axial compression. *Novoe o prochnosti zhelezobetona*. Moscow: Stroyizdat; 1977. p. 17-30. (In Russ.).
12. Popov NN, Rastorguev BS. Calculation of reinforced concrete structures for the effect of short-term dynamic loads. Moscow: Stroyizdat; 1964. 151 p. (In Russ.).
13. Korchinsky IL. Bearing capacity of materials with few repeated loadings. In: Goldenblat II, Bykhovsky VA (ed.). *Metody rascheta zdanii i sooruzhenii na seismostoikost'*: collection of articles. Moscow, 1958. p. 97-107. (In Russ.).
14. Sergeev SM, Becker VA, Bezdelev VV. Modeling of the stress state of the mortar part around the granules of a large aggregate of concrete under the action of an external compressive load on it. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura.* 1982;5:21-25. (In Russ.).

Информация об авторах

Б. И. Пинус,
доктор технических наук, профессор кафедры строительного производства,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: pinus@istu.edu
https://orcid.org/0000-0002-3067-9478

И. Г. Корнеева,
старший преподаватель кафедры строительного производства,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: kornee-inna@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0001-6130-0195

Information about the authors

Boris I. Pinus,
Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Department of Building Production,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: pinus@istu.edu
https://orcid.org/0000-0002-3067-9478

Inna G. Korneeva,
Senior Lecturer of the Department of Building Production,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: kornee-inna@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0001-6130-0195

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.

Статья поступила в редакцию 02.02.2022.
Одобрена после рецензирования 28.02.2022.
Принята к публикации 01.03.2022.

The article was submitted 02.02.2022.
Approved after reviewing 28.02.2022.
Accepted for publication 01.03.2022.

Научная статья
УДК 628.35.001.24
https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-104-113

Оптимизация параметров систем водоснабжения и водоотведения на основе минимизации затрат их жизненного цикла

© Виктор Романович Чупин, Владимир Иванович Мартьянов, Мария Витальевна Матвеева
Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия
Автор, ответственный за переписку: Чупин Виктор Романович, chupinvr@ex.istu.edu

Аннотация. При проектировании городских систем водоснабжения и водоотведения требуется обосновать диаметры трубопроводов, скорости движения воды и стоков. Существующие подходы и нормативные требования, изложенные в СП 31.13330.2012, основываются в том числе на экономических факторах, вычисляемых на основе приведенных затрат на строительство и эксплуатацию систем водоснабжения и водоотведения. Вместе с тем, согласно ГОСТ Р 587885-2019, выбор проектного варианта следует осуществлять на основе затрат их жизненного цикла. В связи с этим предлагается методика вычисления оптимальных значений диаметров и скоростей движения воды и сточной жидкости в трубопроводах на основе затрат их жизненного цикла. В исследовании конкретизируются затраты жизненного цикла в трубопроводных системах водоснабжения и водоотведения в виде функций расхода и скорости транспортируемых воды и стоков. Берется первая производная затрат жизненного цикла по скорости, и полученное уравнение приравнивается нулю. Далее уравнение разрешается относительно скорости. В итоге получены формулы для вычисления оптимальных значений скоростей движения воды и сточной жидкости в трубопроводах относительно затрат их жизненного цикла. Проведенные численные эксперименты показали, что оптимальные значения скоростей движения воды и сточной жидкости зависят от величин расхода, стоимости электроэнергии и количества лет жизненного цикла систем водоснабжения и водоотведения. Предлагается внести изменения в приложение «В» СП 31.13330.2012, добавив обоснование диаметров трубопроводов на основе затрат жизненного цикла систем водоснабжения и водоотведения.

***Ключевые слова*:** системы водоснабжения и водоотведения, минимизация затрат жизненного цикла, оптимальные скорости и диаметры трубопроводов

***Для цитирования**:* Чупин В. Р., Мартьянов В. И., Матвеева М. В. Оптимизация параметров систем водоснабжения и водоотведения на основе минимизации затрат их жизненного цикла // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 1. С. 104–113. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-104-113.

Original article

Optimization of systems of water supply and sewerage by minimizing their life cycle costs

Viktor R. Chupin, Vladimir I. Mart'yanov, Maria V. Matveeva
Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia
Corresponding author: Viktor R. Chupin, chupinvr@ex.istu.edu

Abstract. When designing urban water supply and sewerage systems, the substantiation of pipeline diameters and velocities of the fresh and sewage water should be carried out. The existing approaches and regulatory requirements provided in SP 31.13330.2012 consider economic factors in terms of reduced costs for the construction and operation of water supply and sewerage systems. However, according to GOST R 587885-2019, the design option should be selected on the basis of its life cycle costs (LLC). In this regard, an LLC-based methodology for calculating the optimal values of pipeline diameters and velocities of the fresh and sewage water in pipelines is proposed. The study specifies the LLC of pipeline water supply and sewerage systems in the form of the flow rate and velocity functions of

the transported fresh and sewage water. The first LLC derivative in terms of velocity is taken and set equal to zero. Further, the equation is solved relative to the velocity. As a result, formulas for calculating optimal pipeline velocity values for the fresh and sewage water relative to their LLC are obtained. The conducted numerical experiments demonstrate that the optimal values of fresh and sewage water velocities depend on the values of flow rate and electricity cost, as well as the number of years in the life cycle of water supply and sewerage systems. It is proposed to amend Appendix B of SP 31.13330.2012 by adding a substantiation of pipeline diameters based on the LLC of water supply and sewerage systems.

Keywords: water supply and sanitation systems, minimization of life cycle costs, optimal speeds and diameters of pipelines

For citation: Chupin V. R., Mart'yanov V. I., Matveeva M. V. Optimization of systems of water supply and sewerage by minimizing their life cycle costs. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(1):104-113. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-104-113.

Введение

Основным способом доставки воды и тепла потребителям, а также отведения от них сточных, дождевых и дренажных вод являются трубопроводные системы в виде насосных станций и труб, отличающихся материалом, сечением и толщиной стенок. Основными и капиталоемкими являются трубопроводы, для которых значения диаметров, толщина стенок и материал труб определяются величинами транспортируемого потока и его гидравлическими параметрами (напорным и безнапорным режимом движения), а также скоростью перемещения потока жидкости. Из уравнения неразрывности в напорных трубопроводах цилиндрической формы следует[1]:

$$\mathrm{x} = w \cdot v, \qquad d = \sqrt{\frac{4x}{\pi v}}, \qquad (1)$$

где w – площадь живого сечения, м^2; v – скорость, м/с; x – расход воды в трубопроводном участке сети, м^3/с. Согласно формуле (1), для определения диаметра трубопровода необходимо знание расхода транспортируемой жидкости и скорости ее движения. Как правило, расход является известной величиной, а при назначении скорости движения жидкости возникает ряд вопросов, на которые затрудняются ответить даже опытные проектировщики. Скорость – это физическая величина, которая обеспечивает перемещение определенного объема жидкости и при определенных численных значениях способствует переносу в ней различных взвешенных веществ, в том числе передает тепло от источника к потребителям. Впрочем, в напорном трубопроводе давление распространяется со скоростью звука в транспортируемой среде, что практически мгновенно обеспечивает потребности потребителей, например, в воде. При безнапорном движении весь процесс транспортирования жидкости определяется ее скоростью и временем добегания до расчетных сечений, как это происходит, в частности, в ливневой канализации. Поэтому и возникают вопросы определения и назначения скоростей движения в зависимости от различных видов жидкостей и режимов их транспортирования.

В СП 31.13330.2012 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения», СП 32.13330.2018 «Канализация. Наружные сети и сооружения» приводятся лишь рекомендательные значения скоростей для всасывающих и напорных трубопроводов в диапазоне от 0,6 до 4 м/с, и нет упоминаний об экономически обоснованных диаметрах и скоростях движения жидкостей. Заметим, что в 80-е годы прошлого столетия на основе минимизации приведенных затрат Н. Н. Абрамовым[2] [1] был предложен экономический фактор для назначения оптимальных диаметров систем водоснабжения, а на основе экспериментальных исследований, проведенных в институте «ВНИИ ВОДГЕО», разработаны методические рекомендации (таблицы Ф. Ф. Шевелева[3]), которыми и сейчас пользуются проектировщики. Вместе с тем за прошедшие годы появились трубы из

[1]Штеренлихт Д. В. Гидравлика: учеб. для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1984. 640 с.
[2]Абрамов Н. Н. Расчет водопроводных сетей: учеб. пособ. для вузов. М.: Стройиздат, 1983. 278 с.
[3]Шевелёв Ф. А., Шевелёв А. Ф. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб: справ. пособ. М.: Стройиздат, 1984. 116 с.;
Журба М. Г. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений: учеб. пособ.: в 3 т. М.: Издательство «СВ», 2004. Т. 1. 744 с.

новых и более долговечных материалов, изменились экономические условия их применения и принят новый ГОСТ Р 587885-2019 «Качество воды. Оценка стоимости жизненного цикла для эффективной работы систем и сооружений водоснабжения и водоотведения» [2], согласно которому в основе проектирования коммунальных систем водоснабжения и водоотведения принимаются затраты жизненного цикла (ЗЖЦ). В связи с этим возникает необходимость корректировки сложившейся методологии обоснования диаметров трубопроводов, уже на основании ЗЖЦ.

Методы

Многие годы в эпоху социализма, в постперестроечный период и сейчас применяется критерий приведенных расчетных затрат, в котором за счет нормативного срока окупаемости (например, 8 лет) и эффективности капиталовложений (обратная величина сроку окупаемости) балансировались единовременные капиталовложения и издержки (годовые эксплуатационные затраты). Позднее нормативный срок окупаемости (нормативный срок эффективности капиталовложений) стал отождествляться с банковскими процентами. При этом критерий сопоставления вариантов оставался прежним, и он, в основном, был направлен на минимизацию единовременных капиталовложений при неизменных эксплуатационных затратах. Однако эксплуатационные затраты в системах водоснабжения и водоотведения за жизненный цикл (например, за 50 лет) в двадцать, тридцать раз больше единовременных капиталовложений. Поэтому большинство построенных и эксплуатируемых систем водоснабжения и водоотведения имеют значительные эксплуатационные затраты (на электроэнергию, ремонты, обслуживание и содержание оборудования) [2–6]. Сам критерий приведенных затрат практически не стимулировал минимизацию эксплуатационных затрат за счет внедрения новых технологий автоматизации, диспетчеризации и тем более цифровизации. Эффективным в этом отношении является критерий стоимости жизненного цикла системы, который уже давно применяется в зарубежных странах [7–11] и в котором учитываются все капиталовложения (как единовременные, так и затраты на капитальные и текущие ремонты, на развитие и консервацию системы) и все эксплуатационные затраты, включая затраты на новые технологии, автоматизацию, интеллектуализацию и управление системами. Такой критерий в ГОСТ Р 587885-2019 представлен в следующем виде[4]:

$$\text{ЗЖЦ} = \sum_{t=t_1}^{T}\left(\frac{K_t^e}{(1+r)^t}\right) + \sum_{t=t_2}^{T}\left(\frac{C_t^{\text{экс}}}{(1+r)^t}\right) + C_d^y, \quad (2)$$

где K_t^e – капиталовложения в объекты водоснабжения и водоотведения по периодам строительства, капитального ремонта и реконструкции, начиная с момента времени t_1; $C_t^{\text{экс}}$ – ежегодные эксплуатационные затраты по трубопроводам, насосным станциям и другим сооружениям, начиная с периода времени t_2, когда системы начинают функционировать; C_d^y – затраты на разборку и утилизацию отслужившего свой срок оборудования; T – время жизненного цикла (как правило, принимается временной интервал, соответствующий оборудованию с наибольшим сроком службы); r – норма дисконта (величина ставки рефинансирования ЦБ РФ, например, для безрисковых проектов она составляет 4 %), играет роль базового уровня, в сравнении с которым оценивается экономическая эффективность варианта проекта.

Следует отметить, что для оборудования с меньшим сроком службы единовременные капиталовложения увеличиваются на коэффициент кратности по отношению к оборудованию с наибольшим сроком службы. Например, при жизненном цикле 50 лет и сроке службы автомобиля 8 лет его придется менять 6,26 раз. То же относится и к другим элементам сложной технической системы. С учетом коэффициента кратности капиталовложений ЗЖЦ запишем следующим образом:

$$\text{ЗЖЦ} = R_1^0 \cdot T_1^0 \cdot \sum_{i=1}^{n} K_i^y \cdot KP_i^y + R_2^0 \cdot T_2^0 \cdot \sum_{i=1}^{n}(C_i^{\text{экс}} + C_i^{abr}), \quad (3)$$

где $R_1^0 = \sum_{t=t_1}^{T}\left(\frac{1}{(1+r)^t}\right)$, $R_2^0 = \sum_{t=t_2}^{T}\left(\frac{1}{(1+r)^t}\right)$, R_1^0, R_2^0 – коэффициенты дисконтирования капиталовложений и эксплуатационных затрат (например, для 50 лет коэффициенты дисконтирования составляют 0,141); T_1^0 – срок службы основного фонда систем водоснабжения и водоотведения; n – количество расчетных участков системы водоотведения ($i = 1,\ldots,n$); K_i^y – капиталовложения, равные единовременным затратам по каждому участку сети; KP_i^y – коэффициент кратности капиталовложений (равный отношению расчетного срока службы системы к сроку службы конкретного элемента системы, чей срок жизни меньше расчетного); T_2^0 – интервал времени в годах, на котором определяются эксплуатационные затраты; $C_i^{\text{экс}}$ – текущие годовые эксплуатационные затраты по участку сети i; C_i^{abr} – затраты на ликвидацию аварийных ситуаций.

[4]ГОСТ Р 587885-2019. Качество воды. Оценка стоимости жизненного цикла для эффективной работы систем и сооружений водоснабжения и водоотведения. М.: Стандартинформ, 2020. 36 с.

Для конкретизации (3) воспользуемся укрупненными показателями по капиталовложениям в трубопроводы НЦС-81-02-14-2020 «Наружные сети водоснабжения и канализации» и НЦС-81-02-19-2020 «Здания и сооружения городской инфраструктуры» и по годовым эксплуатационным затратам $C_2^{\text{экс}}$ (тыс. руб./год), рассчитываемым на основе Приказа Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 23 марта 2020 г. № 154/пр «Об утверждении Типовых отраслевых норм численности работников водопроводно-канализационного хозяйства». Для каждого участка сети *i* на основе капиталовложений K_i^y и эксплуатационных затрат $C_i^{\text{экс}}$ выразим затраты жизненного цикла (2)–(3) в виде их зависимости от расхода транспортируемых сточных вод x_i и скорости движения потока v_i. Далее, возьмем частную производную затрат жизненного цикла по скорости и приравняем полученное уравнение нулю. Из уравнения найдем значение оптимальной скорости.

Исследования выполним для полиэтиленовых труб марки ПЭ 100 SDR 17 с (район строительства – Иркутская область).

Затраты на эксплуатацию систем водоснабжения $Э_з^{экс}$ (тыс. руб./год) определяются следующим образом [5]:

$$Э_з = C_{ам} + C_{к.р} + C_{т.р} + C_{элк} + C_{фоп} + C_{св} + C_{н.в} + C_{пр}, \quad (4)$$

где $C_{ам}$ – амортизационные отчисления (принимается 0,05·*K* по трубопроводам); $C_{к.р}$ – затраты на капитальный ремонт (0,046·*K*), руб./год; $C_{т.р}$ – затраты на текущий ремонт (0,01·*K*), руб./год; $C_{элк}$ – стоимость электроэнергии, тыс. руб./год:

$$C_{элк} = 108 \cdot z_{элк} \cdot H \cdot x, \quad (5)$$

где $z_{элк}$ – единичная стоимость электроэнергии (руб. за кВт·час); *x* – расход транспортируемой воды, м^3/с; *H* – напор насосной станции, м вод. ст.

Фонд оплаты труда и страховые взносы составляют:

$$C_{фоп} = 1{,}5 \cdot 12 \cdot ЗП_{ср} \cdot Ч_{ср}, \quad (6)$$

где $ЗП_{ср}$ – средняя заработная плата в месяц по предприятию, тыс. руб.; $Ч_{ср}$ – средняя численность работников предприятия, обслуживающих системы водоснабжения и водоотведения, для водопроводных сетей (контроль, обслуживание, ремонт) составляет:

$$Ч_{ср} = 0{,}45 \cdot L_i^{0{,}83}.$$

$C_{св}$ – страховые взносы (0,30·$C_{фот}$), в том числе в Пенсионный фонд (0,22·$C_{фот}$), Фонд социального страхования (0,029·$C_{фот}$) и Фонд медицинского страхования (0,051·$C_{фот}$); взносы за травматизм и 13 % НДФЛ.

$C_{н.в}$ – налог на воду (тыс. руб./год), определяется следующим образом:

$$C_{н.в} = 31536 \cdot C_{н.ст} \cdot x, \quad (7)$$

где $C_{н.ст}$ – налоговая ставка в рублях за 1 м^3 воды, забираемой из поверхностных и подземных источников (в г. Иркутске в 2020 г. эта ставка составляла 0,162 рублей за 1 м^3).

$C_{пр}$ – прочие расходы, тыс. руб. /год, принимаются в размере 20 % от суммы амортизационных отчислений ($C_{ам}$) и затрат на заработную плату обслуживающего персонала ($C_{фоп}$):

$$C_{пр} = 0{,}2 \cdot (C_{ам} + C_{фоп}). \quad (8)$$

С учетом выражений (5)–(8) эксплуатационные затраты можно представить следующим образом:

$$Э_{зi} = 0{,}116 \cdot K_i + C_{эл} + 5108{,}83 \cdot x_i + 8{,}1 \cdot L_i^{0{,}83} \cdot ЗП_{ср}, \quad (9)$$

где x_i – расход транспортируемой воды в м^3/сек.

Результаты и их обсуждение

Для конкретизации единовременных (капитальных) затрат воспользуемся информацией, приведенной в укрупненных нормативах цен строительства НЦС 81-02-14-2020 для полиэтиленовых труб марок ПЭ 100 SDR 17 и ПЭ 100 RC SDR 17 с защитным покрытием. Капиталовложения в полиэтиленовые трубы хорошо (с достоверностью 0,99) аппроксимируются функцией вида:

$$K = (a \cdot d^2 + в \cdot d + c) \cdot L, \quad (10)$$

где *K* измеряется в тыс. руб., *L* – в км.

Коэффициенты аппроксимации представлены в табл. 1.

С учетом формулы (1):

$$K = (A \cdot x \cdot v^{-1} + B \cdot x^{0{,}5} \cdot v^{-0{,}5} + C) \cdot L. \quad (11)$$

Коэффициенты аппроксимации для уравнения (11) указаны в табл. 2.

Гидравлический расчет напорных трубопроводов систем водоснабжения из пластмассовых труб, согласно СП 31.13330.2012 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения», осуществляется по формуле:

$$h_i = 1{,}1 \cdot У_i \cdot L_i; \qquad У_i = 0{,}001052 \cdot \frac{x_i^{1.774}}{d_i^{4.774}}, \quad (12)$$

где $У_i$ – гидравлический уклон; L_i – длина участка сети, м; x_i – расход, м^3/с.

Согласно теории гидравлических цепей [12] и ее основному закону «Вся привносимая в трубопроводную систему энергия ($H_i \cdot x_i$) тратится на преодоление сил трения ($h_i \cdot x_i$), за вычетом энергии на излив ($p_i \cdot x_i$)»:

$$H_i \cdot x_i = h_i \cdot x_i + p_i \cdot x_i = 0{,}0011572 \cdot L_i \cdot \frac{x_i^{1.774}}{d_i^{4.774}} + p_i \cdot x_i, \quad (13)$$

где p_i – пьезометрический напор в конце трубопровода, м.

С учетом (1):

$$h_i \cdot x_i = 0.0v_i =$$
$$= \frac{5.6 \cdot x_i^{0.52}}{z^{0.287} \cdot T^{0.144}} 00649 \cdot L_i \cdot x_i^{-0.613} \cdot v_i^{2.387} + p_i \cdot x_i. \quad (14)$$

Таблица 1. Значения коэффициентов аппроксимации в формуле (10)
Table 1. The values of the approximation coefficients in formula (10)

Коэффициенты	Трубы ПЭ 100 SDR 17				Трубы ПЭ 100 SDR 17 с защитным покрытием			
	Разработка сухого грунта в отвал, без креплений		Разработка мокрого грунта в отвал, без креплений		Разработка сухого грунта в отвал, без креплений		Разработка мокрого грунта в отвал, без креплений	
	Группы грунтов 1–3	Группа грунтов 4	Группы грунтов 1–3	Группа грунтов 4	Группы грунтов 1–3	Группа грунтов 4	Группы грунтов 1–3	Группа грунтов 4
a	50246	51356	50939	52826	55379	56489	56072	57957
в	–10277	–8459,5	–9484,7	–8385,3	12460	6204,5	13252	14352
c	5363,6	6091,1	6091,1	8344	3224,2	3951,7	5220,7	6204,5

Примечание. Глубина заложения труб – 3 м.

Таблица 2. Значения коэффициентов аппроксимации в формуле (11)
Table 2. The values of the approximation coefficients in formula (11)

Коэффициенты	Трубы ПЭ 100 SDR 17				Трубы ПЭ 100 SDR 17 с защитным покрытием			
	Разработка сухого грунта в отвал, без креплений		Разработка мокрого грунта в отвал, без креплений		Разработка сухого грунта в отвал, без креплений		Разработка мокрого грунта в отвал, без креплений	
	Группы грунтов 1–3	Группа грунтов 4	Группы грунтов 1–3	Группа грунтов 4	Группы грунтов 1–3	Группа грунтов 4	Группы грунтов 1–3	Группа грунтов 4
A	63975,2	65388,5	64857,6	67260,21	70510,7	71924,0	71393,1	73795,7
B	–11596	–9545,53	–10702	–9461,8	–14059,6	–16109,8	–14953	16193,3
C	5363,6	6091,1	7360,2	8344	3224,2	3951,7	5220,7	6204,5

Примечание. Глубина заложения труб – 3 м.

Таким образом, затраты электроэнергии можно представить как функцию расхода, скорости движения воды, длины трубопровода, остаточного напора в конце трубопровода и удельных затрат электроэнергии:

$$C_{\text{элк}} = 108 \cdot z_{\text{элк}} \cdot (0.649 \cdot L_i \cdot x_i^{-0.613} \cdot v_i^{2.387} + p_i \cdot x_i). \quad (15)$$

Единица измерения L – км.

В результате проведенных преобразований ЗЖЦ можно представить формулами (3), (9), (11) и (13) в виде зависимостей от расхода и скорости транспортируемой воды, времени жизненного цикла, длины трубопровода и др.

Для определения оптимальных значений скорости движения воды были проведены следующие численные эксперименты. Рассматривался интервал изменения скоростей движения воды от 0,1 м/с до 10 м/с с шагом 0,1, и вычислялись ЗЖЦ.

В качестве искомых скоростей принимались те, которым соответствовали минимальные значения затрат жизненного цикла, что равносильно взятию первой производной по скорости движения воды.

В итоге исследовано влияние величин расхода транспортируемой воды, стоимости электроэнергии, периода жизненного цикла, протяженности трубопровода и его аварийности на оптимальную скорость движения воды. Некоторые результаты представлены в табл. 3–5.

После обработки результатов численных экспериментов и проведенных исследований получена следующая формула для вычисления оптимальных скоростей в системах водоснабжения:

$$v_i = \frac{5.6 \cdot {x_i}^{0,52}}{z^{0,287} \cdot T^{0,144}}, \quad (16)$$

где x – расход воды в трубопроводе, м^3/с, z – стоимость электроэнергии, руб. за кВт·час, T – время жизненного цикла системы водоснабжения, лет.

Следует отметить, что в ходе проведенных численных экспериментов установлено, что протяженность трубопроводных участков, остаточный напор в конце участка и рельеф местности не влияют на значения оптимальных скоростей.

Таблица 3. Значения оптимальных скоростей движения воды для полиэтиленовых труб при жизненном цикле T = 50 лет, длине трубопровода 1 км
Table 3. Values of optimal water flow rates for polyethylene pipes with a life cycle of T = 50 years, a pipeline length of 1 km

Стоимость электроэнергии $Z_{элк}$, руб. за кВт·час	Оптимальная скорость движения, м/с					
	0,01	0,1	0,5	1	1,5	2
1	0,3	1	2,2	3,1	3,7	4,3
2	0,2	0,8	1,8	2,5	3	3,5
3		0,7	1,6	2,2	2,7	3,1
4			1,5	2	2,5	2,9
5		0,6	1,4	1,9	2,3	2,7
6			1,3	1,8	2,2	2,5
7			1,2	1,7	2,1	2,4
8		0,5	1,2	1,7	2	2,3
9			1,2	1,6	2	2,3
10			1,1	1,6	1,9	2,2

Таблица 4. Значения оптимальных скоростей движения воды для полиэтиленовых труб при жизненном цикле T = 10 лет, длине трубопровода 10 км
Table 4. Values of optimal water flow rates for polyethylene pipes with a life cycle of T = 10 years, a pipeline length of 10 km

Стоимость электроэнергии $Z_{элк}$, руб. за кВт·час	Оптимальная скорость движения, м/с					
	0,01	0,1	0,5	1	1,5	2
1	0,3	1,1	2,5	3,5	4,3	4,9
2		0,9	2	2,9	3,5	4
3		0,8	1,8	2,5	3,1	3,6
4	0,2	0,8	1,7	2,3	2,9	3,3
5		0,7	1,6	2,2	2,7	3,1
6		0,7	1,5	2,1	2,5	2,9
7		0,6	1,4	2	2,4	2,8
8			1,4	1,9	2,3	2,7
9			1,3	1,9	2,3	2,6
10			1,3	1,8	2,2	2,5

При T = 10 лет скорости движения воды, вычисленные по формуле (16), соответствуют экономическим скоростям, представленным в таблицах Ф. Ф. Шевелева[5].

При увеличении стоимости электроэнергии с 1 руб. за кВт·час до 10 рублей оптимальная скорость уменьшается практически вдвое.

С увеличением срока жизненного цикла системы также уменьшается скорость движения воды.

Проведя аналогичные вычисления по уравнениям (2)–(15), не сложно получить формулы определения оптимальных скоростей для напорных трубопроводов из чугуна, стали, железобетона.

В общем виде формулу вычисления оптимальной скорости движения воды и стоков можно представить следующим образом:

$$v_i = \frac{a \cdot {x_i}^b}{z^{c} \cdot T^d}. \quad (17)$$

Коэффициенты формулы (17) представлены в табл. 6.

Учитывая выражение (1), можно перейти от скорости к диаметрам трубопроводов:

$$d = 0.478 \cdot x_i^{0.24} \cdot z_i^{0.143} \cdot T_i^{0.072}. \quad (18)$$

[5]Шевелёв Ф. А., Шевелёв А. Ф. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб: справ. пособ. М.: Стройиздат, 1984. 116 с.

Таблица 5. Значения оптимальных скоростей движения воды для полиэтиленовых труб при жизненном цикле T = 1 год, длине трубопровода 100 км
Table 5. Values of optimal water flow rates for polyethylene pipes with a life cycle T = 1 year, pipeline length 100 km

Стоимость электроэнергии $Z_{элк}$, руб. за кВт·час,	Оптимальная скорость движения, м/с					
	0,01	0,1	0,5	1	1,5	2
1	0,5	1,7	3,9	5,6	6,8	7,8
2	0,4	1,4	3,2	4,6	5,6	6,4
3		1,3	2,9	4,1	5	5,7
4		1,2	2,7	3,8	4,6	5,3
5	0,3	1,1	2,5	3,5	4,3	4,9
6		1,1	2,4	3,3	4,1	4,7
7		1	2,3	3,2	3,9	4,5
8		1	2,2	3,1	3,7	4,3
9		0,9	2,1	3	3,6	4,2
10		0,9	2,1	2,9	3,5	4

Таблица 6. Значения коэффициентов в формуле (17)
Table 6. Values of coefficients in formula (17)

Коэффициенты	Полиэтиленовые трубы		Чугунные трубы		Стальные трубы
	Водоснабжение	Канализация	Водоснабжение	Канализация	Водоснабжение
a	5,6	4,5	5,15	4,95	4,48
b	0,52	0,477	0,435	0,442	0,48
c	0,287	0,287	0,29	0,296	0,294
d	0,144	0,14	0,146	0,166	0,141

Используя формулу (17), для полиэтиленовых труб марки ПЭ 100 SDR 17 со сроком службы 100 лет для расхода воды 0,5 м^3/с можно получить различные значения теоретических диаметров (табл. 7).

Таблица 7. Значения оптимальных диаметров для различных регионов страны
Table 7. Values of optimal diameters for different regions of the country

Регион	Стоимость электроэнергии, руб./кВт·час	Диаметр, м		
		при T = 10 лет	при T = 50 лет	при T = 100 лет
Москва	5,15	0,518	0,685	0,713
Иркутск	1,23	0,492	0,553	0,580
Чукотка	10,14	0,666	0,748	0,810

Для полиэтиленовых труб со сроком службы 100 лет, согласно формуле (18), можно получить диапазоны расходов, м^3/с, которым будут соответствовать диаметры из стандартного ряда, выпускаемого промышленностью, например, для г. Иркутска (табл. 8).

Аналогичные зависимости по формуле (17) получены и для напорной канализации из двух параллельных трубопроводов, коэффициенты приведены в табл. 9.

С учетом уравнения (18) формула (12) примет следующий вид:

$$h_i = 1{,}1 \cdot \text{у}_i \cdot L_i; \qquad \text{у}_i = \frac{0.0035 \cdot x^{0.628}}{z^{0.68} \cdot T^{0{,}34}}. \quad (19)$$

Описание систем водоснабжения и водоотведения совокупностью этих формул для каждого трубопровода является недостаточным, так как потокораспределение в целом подчиняется некоторым системным законам сохранения массы и энергии.

Такими законами являются аналоги первого и второго постулатов Кирхгофа. Для их формального описания используем алгебру гидравлических цепей [12].

Таблица 8. Диапазоны расходов воды и соответствующие им стандартные диаметры труб
Table 8. Water flow ranges and their corresponding standard pipe diameters

Диапазон расходов, м³/с	Диаметр, мм	Диапазон расходов, м³/с	Диаметр, мм	Диапазон расходов, м³/с	Диаметр, мм
<0,00014	100	0,014–0,026	350	0,5–0,83	800
0,00014–0,00036	125	0,026–0,046	400	0,83–1,35	900
0,00036–0,00077	150	0,046–0,12	500	1,35–2,1	1000
0,00077–0,0026	200	0,12–0,31	630	–	
0,0026–0,014	300	0,31–0,5	710		

Таблица 9. Значения коэффициентов аппроксимации в формуле (17)
Table 9. The values of the approximation coefficients in formula (17)

Коэффициенты	Полиэтиленовые трубы	Чугунные трубы
a	5,6	6
b	0,485	0,44
c	0,286	0,303
d	0,15	0,146

Чтобы учесть закон сохранения массы в системах водоснабжения и водоотведения, воспользуемся матрицей соединения узлов и ветвей схемы, размеры которой будут следующими: $A = \left| a_{ji} \right|_n^m$ (m, n – количество узлов и участков схемы).

Здесь a_{ji} = –1, если ветвь i направлена к узлу j; a_{ji} = 1, если ветвь i исходит из j; a_{ji} = 0, когда узел j не принадлежит ветви i.

Чтобы учесть закон сохранения энергии, воспользуемся матрицей контуров ($B = \left| b_{ri} \right|_n^c$, c – количество контуров), которая фиксирует совпадения выбранной базисной системы контуров и ветвей: b_{ri} = 1, если ветвь i входит в контур и ее ориентация совпадает с направлением контура; b_{ri} = –1, когда ориентация входящей в контур r ветви противоположна направлению обхода контура, и b_{ri} = 0, если ветвь не входит в контур.

В итоге получаем следующую систему линейных и нелинейных уравнений:

$$\begin{aligned} A \cdot x &= Q, \\ B \cdot h &= 0, \\ P &= e \cdot P_{j^*} - R_g \cdot h. \end{aligned} \qquad (20)$$

Решение системы уравнений (20), включая замыкающее соотношение (19), позволяет определить оптимальные параметры систем водоснабжения разветвленной и кольцевой структуры.

Заключение

Проведенное исследование позволяет сделать вывод о том, что знание скоростей движения воды и сточной жидкости обеспечивает возможность обосновать диаметры трубопроводов новых и реконструируемых систем водоснабжения и водоотведения.

По итогам исследования предлагается:

1. Использовать методику вычисления скорости движения воды и стоков на основании минимизации затрат жизненного цикла систем водоснабжения и водоотведения.

2. Полученные формулы вычисления скоростей движения воды и стоков использовать при проектировании систем водоснабжения и водоотведения из полиэтиленовых труб.

3. Внести изменения в СП 31.13330.2012 в части приложения «В»: обоснование экономических диаметров осуществлять на основе затрат жизненного цикла систем водоснабжения и водоотведения.

4. Пересмотреть все имеющиеся методические пособия к СП 31.13330.2012 по обоснованию параметров систем водоснабжения и водоотведения и выполнять расчеты на основе критерия затрат жизненного цикла.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Абрамов Н. Н. Теория и методика расчета систем подачи и распределения воды. М.: Стройиздат, 1972. 287 с.
2. Chipranich I., Evrich M., Radulovic M., Sekulich G. The energy – pressure nexus in the water supply system // Water Supply. 2021. Vol. 21 (1). p. 344-355. https://doi.org/10.2166/ws.2020.285.
3. Mangalekar R. D., Gumaste C. S. Residential water demand modelling and hydraulic reliability in design of building water supply systems: a

review // Water Supply. 2021. Vol. 21 (4). p. 1385-1397. https://doi.org/10.2166/ws.2021.021.
4. Gajgate P. W., Mirajkar A. B. Irrigation pipe distribution network optimization with Jaya Algorithm: a hybrid approach // Water Supply. 2021. Vol. 21 (7). p. 3570-3583. https://doi.org/10.2166/ws.2021.122.
5. Nuri M., Emadi A., Fazlula R. An agent-based model for water allocation optimization and comparison with the game theory approach // Water Supply. 2021. Vol. 21 (7). p. 3584-3601. https://doi.org/10.2166/ws.2021.124.
6. Pujita S. N., Singh G., Jyotiprakash V. Improving the optimal solution of GoYang network – using genetic algorithm and differential evolution // Water Supply. 2020. Vol. 20 (1). p. 95-102. https://doi.org/10.2166/ws.2019.139.
7. Tadokoro H., Koibuchi H., Takahashi S., Kakudo S., Takata Y., Moriya D., et al. Water supply control system for smarter electricity power usage adopting demand-response scheme // Water Supply. 2020. Vol. 20 (1). p. 140-147. https://doi.org/10.2166/ws.2019.143.
8. Marquez J., Cunha M. Upgrading water distribution networks to work under uncertain conditions // Water Supply. 2020. Vol. 20 (3). p. 878-888. https://doi.org/10.2166/ws.2020.011.
9. Solgi M., Bozorg-Haddad O., Loáiciga H. A. A multi-objective optimization model for operation of intermittent water distribution networks // Water Supply. 2020. Vol. 20 (7). p. 2630-2647. https://doi.org/10.2166/ws.2020.159.
10. Palod N., Prasad V., Khare R. Non-parametric optimization technique for water distribution in pipe networks // Water Supply. 2020. Vol. 20 (8). p. 3068-3082. https://doi.org/10.2166/ws.2020.200.
11. Shabani M., Garneh N. Sh., Niaki S. T. A. Planning for urban water supply–demand portfolio using a hybrid robust stochastic optimization approach // Water Supply. 2020. Vol. 20 (8). p. 3433-3448. https://doi.org/10.2166/ws.2020.257.
12. Меренков А. П., Хасилев В. Я. Теория гидравлических цепей. М.: Наука, 1985. 278 с.

REFERENCES

1. Abramov NN. Theory and methodology for calculating water supply and distribution systems. Moscow: Strojizdat; 1972. 287 p. (In Rus.).
2. Chipranich I, Evrich M, Radulovic M, Sekulich G. The energy – pressure nexus in the water supply system. *Water Supply*. 2021;21(1):344-355. https://doi.org/10.2166/ws.2020.285.
3. Mangalekar RD, Gumaste CS. Residential water demand modelling and hydraulic reliability in design of building water supply systems: a review. *Water Supply*. 2021;21(4):1385-1397. https://doi.org/10.2166/ws.2021.021.
4. Gajgate PW, Mirajkar AB. Irrigation pipe distribution network optimization with Jaya Algorithm: a hybrid approach. *Water Supply*. 2021;21(7):3570-3583. https://doi.org/10.2166/ws.2021.122.
5. Nuri M, Emadi A, Fazlula R. An agent-based model for water allocation optimization and comparison with the game theory approach. *Water Supply*. 2021;21(7):3584-3601. https://doi.org/10.2166/ws.2021.124.
6. Pujita SN, Singh G, Jyotiprakash V. Improving the optimal solution of GoYang network – using genetic algorithm and differential evolution. *Water Supply*. 2020;20(1):95-102. https://doi.org/10.2166/ws.2019.139.
7. Tadokoro H, Koibuchi H, Takahashi S, Kakudo S, Takata Y, Moriya D, et al. Water supply control system for smarter electricity power usage adopting demand-response scheme. *Water Supply*. 2020;20(1):140-147. https://doi.org/10.2166/ws.2019.143.
8. Marquez J, Cunha M. Upgrading water distribution networks to work under uncertain conditions. *Water Supply*. 2020;20(3):878-888. https://doi.org/10.2166/ws.2020.011.
9. Solgi M, Bozorg-Haddad O, Loáiciga HA. A multi-objective optimization model for operation of inter-mittent water distribution networks. *Water Supply*. 2020;20(7):2630-2647. https://doi.org/10.2166/ws.2020.159.
10. Palod N, Prasad V, Khare R. Non-parametric optimization technique for water distribution in pipe networks. *Water Supply*. 2020;20(8):3068-3082. https://doi.org/10.2166/ws.2020.200.
11. Shabani M, Garneh NSh, Niaki STA. Planning for urban water supply–demand portfolio using a hybrid robust stochastic optimization approach. *Water Supply*. 2020;20(8):3433-3448. https://doi.org/10.2166/ws.2020.257.
12. Merenkov AP, Hasilev VYa. Theory of hydraulic circuits. Moscow: Nauka; 1985. 278 p.

Информация об авторах

В. Р. Чупин,
доктор технических наук,
профессор кафедры городского строительства и хозяйства,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
e-mail: chupinvr@ex.istu.edu
https://orcid.org/0000-0001-5460-4780

В. И. Мартьянов,
доктор физико-математических наук,
профессор кафедры автомобильных дорог,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
e-mail: martvliv@mail.ru
http://orcid.org/0000-0003-2659-0355

М. В. Матвеева,
доктор экономических наук,
профессор кафедры экспертизы и управления недвижимостью,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
e-mail: expertiza@istu.edu
https://orcid.org/0000-0002-9390-5444

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

Vladimir I. Mart'yanov,
Dr. Sci. (Phys. – Math.),
Professor of the Department of Highways,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,
e-mail: martvliv@mail.ru
http://orcid.org/0000-0003-2659-0355

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

Вклад авторов

Чупин В. Р., Мартьянов В. И., Матвеева М. В. имеют равные авторские права. Чупин В. Р. несет ответственность за плагиат.

Contribution of the authors

Chupin V. R., Mart'yanov V. I., Matveeva M. V. have equal author’s rights. Chupin V. R. 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.

Статья поступила в редакцию 02.02.2022.
Одобрена после рецензирования 28.02.2022.
Принята к публикации 01.03.2022.

The article was submitted 02.02.2022.
Approved after reviewing 28.02.2022.
Accepted for publication 01.03.2022.

Научная статья
УДК 697.27
https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-114-123

Анализ потребности в электротермическом оборудовании производителей сельскохозяйственной продукции на территории Республики Бурятия

© Игорь Юрьевич Шелехов, Виталий Леонидович Рупосов, Анастасия Игоревна Шелехова, Юлия Сергеевна Воронцова
Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия
Автор, ответственный за переписку: Шелехов Игорь Юрьевич, promteplo@yandex.ru

Аннотация. Одним из приоритетов государства должно быть создание благоприятных условий для работы и проживания сельских жителей, в том числе их обеспечение электротехническим оборудованием. Основываясь на реальных условиях, уровне доходности сельских жителей необходимо определять тенденции развития растениеводства и животноводства на основе имеющихся статистических данных, оценивать потребность населения в электротехническом оборудовании определенного класса исполнения. Для удовлетворения будущего спроса необходимо внедрять новые технологии, которые являлись бы более эффективными по сравнению с аналогами, были недорогими при установке и эксплуатации. В статье приводятся результаты исследования развития территории Республики Бурятия. Показано, что в соответствии с географическим положением и национальными традициями, сельскохозяйственные, крестьянские (фермерские) хозяйства и индивидуальные предприниматели в республике ведут свое развитие в области растениеводства, а в области животноводства превалируют хозяйства населения. Также выявлено, что в области производства молока и молочных продуктов хозяйства населения являются неоспоримыми лидерами. На основании проведенного анализа авторы приходят к выводу, что в республике будет расти потребность в промышленном оборудовании, предназначенном для термической обработки зерновых культур, в том числе для сушки и хранения зерна. С учетом того, что наибольший объем производства сельскохозяйственной продукции приходится на хозяйство населения, в Бурятии будут востребованы промышленные и полупромышленные проточные водонагреватели. Для удовлетворения будущего спроса необходимо вести опытно-конструкторские работы по созданию новых моделей электротермического оборудования, предназначенного для работы в условиях сельской местности.

Ключевые слова: развитие территорий, электротермическое оборудование, прогнозирование спроса, тенденция развития, сельскохозяйственная продукция

Благодарности: Работы выполнены при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Иркутской области в рамках научного проекта № 20-48-380002, Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере и Фонда Сколково.

Для цитирования: Шелехов И. Ю., Рупосов В. Л., Шелехова А. И., Воронцова Ю. С. Анализ потребности в электротермическом оборудовании производителей сельскохозяйственной продукции на территории Республики Бурятия // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 1. С. 114–123. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-114-123.

Original article

Analysis of the needs in electrothermal equipment among agricultural producers in the Republic of Buryatia

Igor Yu. Shelekhov, Vitaliy L. Ruposov, Anastasia I. Shelekhova, Yulia S. Vorontsova
Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia
Corresponding author: Igor Yu. Shelekhov, promteplo@yandex.ru

Abstract. The creation of favourable conditions for work and residence of rural people, including their provision with electrical equipment, is a priority task for any state. The developmental trends of crop

growing and livestock farming in a particular area should be determined based on relevant statistical data about the living conditions and income level of rural residents. This information should be used to assess the needs of the population in specialised electrical equipment. In order to meet the future demand in agricultural products, new technologies – more efficient and inexpensive in installation and operation – are required. The article presents a research study into the development of the Republic of Buryatia. In accordance with the geographical location and national traditions, corporate and peasant farms, as well as individual entrepreneurs in the Republic develop mainly in the field of crop growing, while household farms prevail in the field of livestock farming. In addition, in the field of milk and dairy production, household farms are indisputable leaders. On the basis of the performed analysis, a conclusion is made that the needs of the Republic's population in industrial equipment used for thermal treatment of cereal crops, including grain drying and storage, will definitely increase. Since it is household farms that make the largest contribution to the level of agricultural production in the Republic of Buryatia, industrial and semi-industrial direct-flow water heaters will be in greater demand. Therefore, R&D works should be carried out to develop new models of electrothermal equipment designed for the application in rural areas.

Keywords: development of territories, electrothermal equipment, demand forecasting, development trend, agricultural products

Acknowledgments: The work was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research and the Government of the Irkutsk Region within the framework of the scientific project No. 20-48-380002, the Foundation for Assistance to the Development of Small Forms of Enterprises in the Scientific and Technical Sphere and the Skolkovo Foundation.

For citation: Shelekhov I. Yu., Ruposov V. L., Shelekhova A. I., Vorontsova Yu. S. Analysis of the needs in electrothermal equipment among agricultural producers in the Republic of Buryatia. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(1):114-123. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-114-123.

Введение

Производство сельскохозяйственной продукции является одним из основных приоритетов развития многих стран, от покрытия внутренних потребностей в продуктах питания зависит уровень экономической безопасности. Тенденция производства продукции в сельской местности зависит от многих факторов, таких как географическое расположение, национальный состав жителей этих территорий, обеспеченность «орудиями» производства. Немаловажным фактором, определяющим вектор развития территорий, является обеспеченность населения услугами бытового назначения и электротехническим оборудованием для удовлетворения жизненных потребностей [1–6]. В своем постановлении № 391 от 31.03.2020 г. Правительство Российской Федерации отмечает тот факт, что развитие территорий должно осуществляться комплексно[1], для этого необходимо создать соответствующую инфраструктуру, которая сблизит уровень социального и бытового обслуживания сельских и городских жителей. В своей программе устойчивого развития сельских территорий Российской Федерации на период до 2030 года[2] Правительство предусматривает мероприятия по обеспечению сельского населения стабильным и качественным электроснабжением, что, в свою очередь, приведет к спросу на электротехническое оборудование. Чтобы удовлетворить будущий спрос, его необходимо спрогнозировать с учетом специфики региона и тенденции развития структур, которые занимаются производством сельскохозяйственной продукции.

Сельскохозяйственные производства, находящиеся в центральной части России, стабильно развиваются и не требуют тщательного анализа [7–10], в отличие от тех, которые располагаются в регионах. К таким регионам относится Республика Бурятия с малоразвитой инфраструктурой, но с большим потенциалом, особенно в области животно-

[1]О внесении изменений в государственную программу Российской Федерации «Комплексное развитие сельских территорий»: Постановление Правительства РФ от 31.03.2020 N 391 (ред. от 24.12.2021) [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_349863/ (15.01.2022).
[2]Об утверждении Стратегии устойчивого развития сельских территорий Российской Федерации на период до 2030 года: Распоряжение Правительства РФ от 02.02.2015 N 151-р (ред. от 13.01.2017) [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_174933/ (15.01.2022).

водства, занятие которым является национальной чертой жителей этой местности.

Методы

Чтобы оценить уровень развития территории Республики Бурятия, необходимо определить, от чего зависят темпы развития растениеводства и животноводства, выявить зависимости и тенденцию развития бизнес-направлений [12, 13], при этом необходимо учитывать тенденции развития сельского бизнеса в нынешних условиях [13] и количество неосвоенных территорий. Несмотря на то, что наибольшую долю среди хозяйств республики имеют хозяйства населения, будем использовать результаты оценки зависимости развития животноводства по всем типам хозяйствующих субъектов, а выделение наиболее активных хозяйств производить по модели, полученной из статистических данных[3].

В результате анализа статистических данных была получена формула (1) распределения долей хозяйств:

$$y = 0{,}27 \cdot x1 + 0{,}68 \cdot x2 + 0{,}05 \cdot x3, \quad (1)$$

где *x1* – сельскохозяйственные организации; *x2* – хозяйства населения; *x3* – крестьянские (фермерские) хозяйства и ИП.

Также была получена формула (2) зависимости между временем развития животноводства и размером доходов от данного вида деятельности:

$$q = 555{,}35 \cdot n - 1107708{,}08, \quad (2)$$

где *q* – прогнозируемый год; *n* – объем продукции от животноводства.

Если для анализа развития неосвоенных территорий моделировать развитие только животноводства, то развитие растениеводства будет происходить параллельно. Для моделирования процессов развития растениеводства от уровня развития животноводства можно использовать зависимость между факторами. Дополнительно для оценки развития неосвоенных территорий нами принимается активность всех форм хозяйствования в соответствии с долями присутствия на сельскохозяйственном рынке данной территории.

Результаты и их обсуждение

Анализ статистических данных показал, что в общем объеме производства сельскохозяйственные производства уменьшили свой товарооборот, передав часть своих функций хозяйствам населения, крестьянским (фермерским) хозяйствам и индивидуальным предпринимателям. В таблице приведены общие данные по производству основных видов сельскохозяйственной продукции.

Из таблицы видно, что наибольший объем производства сельскохозяйственной продукции приходится на хозяйства населения. Следовательно, данный сегмент должен быть якорным для формирования модели развития сельского хозяйства в Республике Бурятия. Более наглядно это видно на рис. 1, где показано распределение хозяйств по финансовым объемам производства.

Представив основные сегменты рынка в виде диаграмм, которые приведены ниже (рис. 2–4), можно обнаружить, что в области производства зерновых незначительна доля хозяйств населения, а в производстве мясной продукции – крестьянских (фермерских) хозяйств и ИП. В производстве молока и молочной продукции хозяйства населения превалируют над крестьянскими (фермерскими) хозяйствами и над сельскохозяйственными организациями.

Производство основных видов сельскохозяйственной продукции по категориям хозяйств и годам
Production of the main types of agricultural products by categories of farms and years

Сельскохозяйственная продукция	1998	2003	2004	2005	2006	2014	2015	2016
Сельскохозяйственные организации								
Зерно (в весе после доработки), тыс. т	96,2	94,3	95	93,4	91,9	65,7	15,6	21,9
Картофель, тыс. т	6,4	1,7	2,2	2,1	2,2	16,4	14,8	17
Овощи, тыс. т	22	6,7	7,2	6,3	7,3	11,1	11,4	10
Скот и птица на убой (в убойном весе), тыс. т	15,2	12,6	12,4	12,4	13,7	18,2	17,5	14,6
Молоко, тыс. т	22,4	10,4	9,8	9,1	7,9	15,2	12	12,3
Яйца, млн шт.	72,7	60,5	58,5	59,1	63	51,7	56,9	57,8
Шерсть (в физическом весе), т	73,7	56,4	57,2	54,4	50,7	211	174	149

[3]Статистический ежегодник. 2017: стат. сб. / Бурятстат. Улан-Удэ, 2017. 490 с.

Окончание таблицы

Сельскохозяйственная продукция	1998	2003	2004	2005	2006	2014	2015	2016
Хозяйства населения								
Зерно (в весе после доработки), тыс. т	0	0,1	0,2	0,6	0,3	0,7	0,4	0,6
Картофель, тыс. т	91,9	97	95,9	96,6	96,5	125,6	114	133,7
Овощи, тыс. т	74,2	91,2	89	90,8	89,9	40,6	40,8	41,1
Скот и птица на убой (в убойном весе), тыс. т	82,7	84,3	84,5	84,1	82,6	24,6	23,7	24,5
Молоко, тыс. т	74,9	85,3	86	87,4	88,5	187	187	177,1
Яйца, млн шт.	26,7	38,6	40,7	40,3	36,4	21,2	21,7	19,2
Шерсть (в физическом весе), т	23,9	37,4	36,5	38,5	41,5	190	273	272
Крестьянские (фермерские) хозяйства и ИП								
Зерно (в весе после доработки), тыс. т	3,8	5,6	4,8	6	7,9	15	5,4	10,7
Картофель, тыс. т	1,7	1,3	1,9	1,3	1,4	3,9	4,3	4,8
Овощи, тыс. т	3,8	2,1	3,8	2,9	2,8	1,8	3,3	2,4
Скот и птица на убой (в убойном весе), тыс. т	2,1	3,1	3,1	3,5	3,7	2,4	2,5	2,6
Молоко, тыс. т	2,8	4,3	4,2	3,5	3,6	6,5	6,7	6,7
Яйца, млн шт.	0,6	0,9	0,8	0,6	0,6	2	6,2	1,6
Шерсть (в физическом весе), т	2,4	6,2	6,3	7,1	7,8	110	132	146

Рис. 1. Распределение хозяйств по финансовым объемам производства
Fig. 1. Distribution of farms by financial production volumes

Анализ финансового оборота всех хозяйственных субъектов Республики Бурятия (рис. 5) показал, что развитие их идет планомерно, общая динамика положительная, описывается линейной функцией и с определенной долей погрешности может быть представлена прямой линией. Это означает, что перепрофилирование хозяйственной деятельности оказывает положительное влияние на развитие производства сельскохозяйственной продукции и оптимизирует технологические процессы.

Рис. 2. Зерно (в весе после доработки)
Fig. 2. Grain (in weight after finishing)

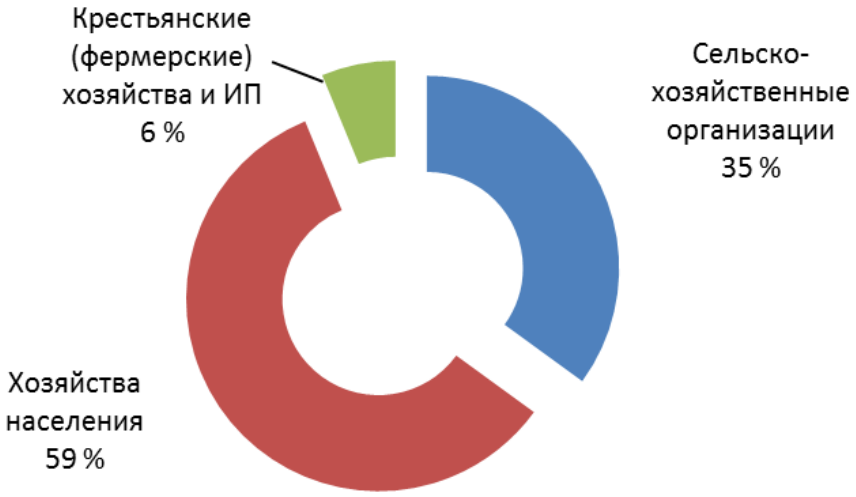


Рис. 3. Скот и птица на убой (в убойном весе)
Fig. 3. Cattle and poultry for slaughter (in carcass weight)

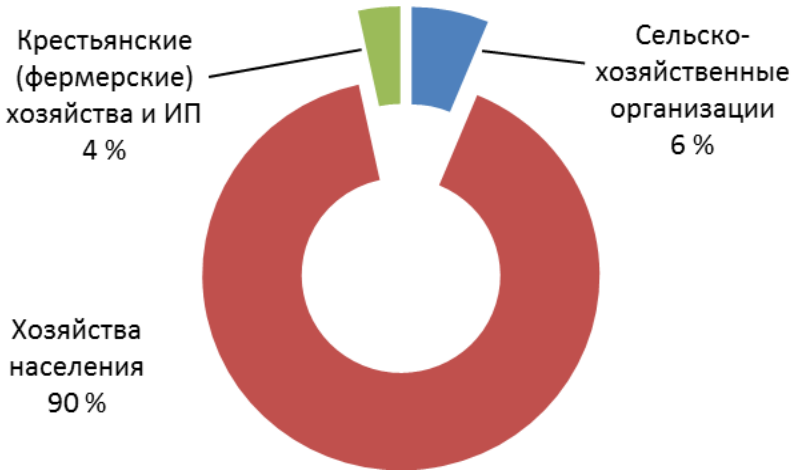


Рис. 4. Производство молока и молочной продукции
Fig. 4. Production of milk and dairy products

Специфика развития одного или другого вида деятельности в определенном хозяйственном сегменте определяет комплект технологического оборудования, необходимого для производства. С другой стороны, если развитие производства находится на уровне хозяйств населения, необходимо создавать благоприятные условия не только для бизнеса, но и для данных хозяйств и подбирать инженерное оборудование с учетом специфики жизнедеятельности этих людей. Если в крестьянских (фермерских) хозяйствах и в сельхозпредприятиях системы жизнеобеспечения людей и системы обеспечения технологического цикла производства сконцентрированы на самом производстве, то в случае с хозяйствами населения они распределены. Соответственно, электротехническое оборудование, предназначенное для населения, должно иметь более высокие технологические параметры по производительности, надежности и ресурсу работы.

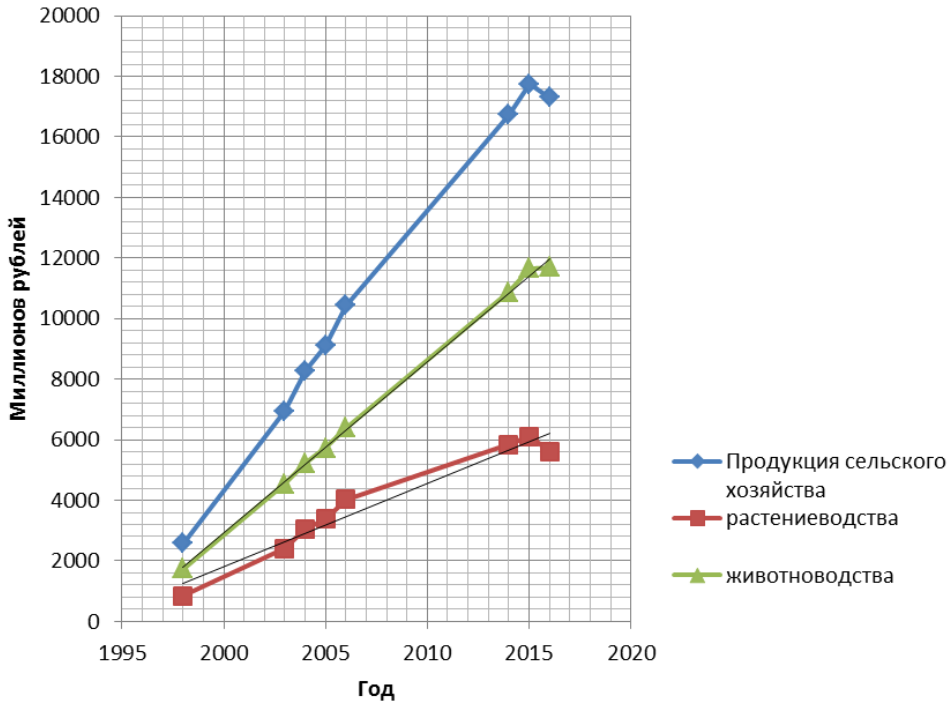


Рис. 5. Динамика финансового оборота хозяйственных субъектов Республики Бурятия
Fig. 5. Dynamics of financial turnover of economic entities of the Republic of Buryatia

Заключение

Проведенный анализ объема и ассортимента сельскохозяйственной продукции Республики Бурятия показал, что развитие растениеводства и животноводства в сельскохозяйственных предприятиях идет совместно, соответственно, при дальнейшем развитии в данном направлении у предприятий будет возникать потребность в промышленном оборудовании, предназначенном для сушки зерна [14], промышленных системах поддержания микроклимата в помещениях, так как условия хранения сельскохозяйственной продукции являются определяющими в обеспечении ее качества [15, 16]. Так как основное производство молока и молочной продукции переместилось на уровень хозяйств населения, соответственно, спрос на климатическое оборудование для фермерского хозяйства будет уменьшаться, с другой стороны, вырастет спрос на аналогичный класс оборудования в частном секторе, предназначенный для бытового назначения [17].

С ростом использования устройств интеллектуального управления технологическими процессами будет расти спрос на термоэлектрические устройства, предназначенные для систем охлаждения и для генерации электрической энергии. Кроме этого, вырастет спрос на промышленные и полупромышленные проточные водонагреватели [18]. С учетом того, что проточные водонагреватели бытового назначения не предназначены для экстремальных режимов эксплуатации в условиях сельской местности, необходимо вести опытно-конструкторские работы в данном направлении.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Шадская И. Г. Развитие бытового обслуживания населения в сельской местности Московской области. I часть // Сервис plus. 2010. № 1. С. 69–77.
2. Буклагина Г. В. Разработка электротермического оборудования для сельскохозяйственных и пищевых производств // Инженерно-техническое обеспечение АПК. Реферативный журнал. 2004. № 3. С. 664.
3. Ушаев И. Г., Папцов А. Г., Серков А. Ф., Алтухов А. И., Бондаренко Л. В., Чекалин В.С. и др. Основные направления стратегии устойчивого социально-экономического развития агропромышленного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года: монография. М.: Сам Полиграфист, 2018. 60 с.
4. Сафонова О. В., Королев В. В., Коньков А. П. Экономический эффект в быту: сравнение газовой и электрической кухонных плит // Научный поиск. 2018. № 2. С. 72–77.
5. Репеева Л. И. Состояние российского рынка бытовых газовых плит // Творческое наследие А. С. Посникова и современность. 2016. № 10. С. 217–223.
6. Шелехов И. Ю., Седельникова А. Ю. Оценка эффективности использования различных методов обогрева теплиц // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2013. № 1 (4). С. 138–143.
7. Петриков А. В. Устойчивое развитие сельских территорий в России: направления и проблемы // Устойчивое развитие сельского хозяйства и сельских территорий: зарубежный опыт и проблемы России. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2005. С. 228–243.
8. Tenpieric M., Van der Spoel W., Cauberg H. An analytical model for calculating thermal bridge effects in high performance building enclosure // Journal of Building Physics. 2008. Vol. 31. p. 361-387. https://doi.org/10.1177/1744259107088008.
9. Калашнова Т. В. Совершенствование термообработки мясных полуфабрикатов // Инновационные технологии в пищевой промышленности: Наука, образование и производство: Междунар. науч.-техн. конф. (заочная) (Воронеж, 03–04 декабря 2013 года). Воронеж, 2013. С. 190–195.
10. Петросян М. М., Петренко Е. Г. Правовой режим продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО) и перспективы членства в ней РФ // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сб. статей по мат-лам X Всерос. конф. молодых ученых, посвящ. 120-летию И. С. Косенко (Краснодар, 26–30 ноября 2016 года). Краснодар, 2017. С. 831–832.
11. Погожева К. Н., Саямова Я. Г. Проблемы развития бизнес-процессов в сельской местности // Наука XXI века: актуальные направления развития. 2017. № 2-1. С. 13–17.
12. Pashentsev DA, Rudakova EN, Matvienko SV, Shutikova NS, Shchebrenko ED. History of the establishment and activities food and agriculture organization of the united nations (FAO) // Вопросы истории. 2020. № 5. С. 140–145.
13. Дубовицкий А. А., Якименко Е. Ж. Влияние малого бизнеса на экономическое развитие региона в условиях импортозамещения. // Продовольственная безопасность в условиях международных санкций: сб. науч. трудов. Мичуринск: Мичуринский государственный аграрный университет, 2017. С. 30–38.
14. Шелехов И. Ю. Описание новой методики приготовления хлебобулочных изделий из пшенично-ржаной муки на закваске // Инженерные технологии и системы. 2021. Т. 31. № 2. С. 291–303. https://doi.org/10.15507/2658-4123.031.202102.291-303.
15. Шелехов И. Ю., Алтухов И. В., Очиров В. Д. Анализ использования саморегулируемых нагревательных элементов для систем «теплый пол» в сельской местности // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2021. № 2 (196). С. 113–120.
16. Некрасов С. А. Перспективы роста потребления электроэнергии в России на основе международного сравнительного анализа // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2011. Т. 7. № 44 (137). С. 37–50.
17. Шелехов И. Ю., Шишелова Т. И., Смирнов Е. И., Иноземцев В. П. Комбинированная система электрообогрева каркасных домов. Вестник Мордовского университета. 2017. Т. 27. № 2. С. 198–214. https://doi.org/10.15507/0236-2910.027.201702.198-214.
18. Шелехов И. Ю., Алтухов И. В., Очиров В. Д. Энергоэффективная конструкция проточного водонагревателя // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2020. Т. 67. № 4 (41). С. 3–8. https://doi.org/10.22314/2658-4859-2020-67-4-3-8.

REFERENCES

1. Shadskaya IG. Development of consumer services for the population in rural areas of the Moscow region Part 1. *Servis plus*. 2010;1: 69-77. (In Russ.).
2. Buklagina GV. Development of electrothermal equipment for agricultural and food industries. *Inzhenerno-tekhnicheskoe obespechenie APK. Referativnyi zhurnal*. 2004;3:664. (In Russ.).
3. Ushaev IG, Paptsov AG, Serkov AF, Altukhov AI, Bondarenko LV, Chekalin VS, et al. The main directions of the strategy for sustainable socio-economic development of the agro-industrial complex of the Russian Federation for the period up to 2030: monograph. Moscow: Sam Poligrafist; 2018. 58 p. (In Russ.).
4. Safonova OV, Korolev VV, Konkov AP. Economic effect in everyday life: gas and electric kitchen stoves comparison. *Nauchnyi poisk*. 2018;2:72-77. (In Russ.).
5. Repeeva LI. Status of the Russian market of household gas stoves. *Tvorcheskoe nasledie A. S. Posnikova i sovremennost'*. 2016;10:217-223. (In Russ.).
6. Shelekhov IYu, Sedelnikova AYu. Efficiency estimation of greenhouse heating methods. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2013;1(4):138-143. (In Russ.).
7. Petrikov AV. Sustainable development of rural areas in Russia: directions and problems. *Ustoichivoe razvitie sel'skogo khozyaistva i sel'skikh territorii: zarubezhnyi opyt i problemy*. Moscow: Tovarishchestvo nauchnykh izdanii KMK; 2005. p. 228-243. (In Russ.).
8. Tenpieric M, Van der Spoel W, Cauberg H. An analytical model for calculating thermal bridge effects in high performance building enclosure. *Journal of Building Physics*. 2008;31:361-387. https://doi.org/10.1177/1744259107088008.
9. Kalashnova TV. Improving the heat treatment of semi-finished meat products. *Innovatsionnye tekhnologii v pishchevoi promyshlennosti: Nauka, obrazovanie i proizvod-stvo: Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya (zaochnaya)* (03–04th December 2013, Voronezh). Voronezh, 2013. p. 190-195. (In Russ.).
10. Petrosyan MM, Petrenko EG. The legal regime of the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and the prospects for membership in it of the Russian Federation. *Nauchnoe obespechenie agropromyshlennogo kompleksa: sbornik statei po materialam X Vserossiiskoi konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennoi 120-letiyu I. S. Kosenko* (26-30th November 2016, Krasnodar). Krasnodar, 2017. p. 831-832. (In Russ.).
11. Pogozheva KN, Sayamova YaG. The problems of development of business process in the countryside. *Nauka XXI veka: aktual'nye napravleniya razvitiya*. 2017;2-1:13-17. (In Russ.).
12. Pashentsev DA, Rudakova EN, Matvienko SV, Shutikova NS, Shchebrenko ED. History of the establishment and activities food and agriculture organization of the united nations (FAO). *Voprosy istorii*. 2020;5:140-145.
13. Dubovitsky AA, Yakimenko EZh. The impact of small business on the economic development of the region in the context of import substitution. *Prodovol'stvennaya bezopasnost' v usloviyakh mezhdunarodnykh sanktsii*: sb. nauch. trudov. Michurinsk: Michurinskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet; 2017. p. 30-38. (In Russ.).
14. Shelekhov IYu. Description of a New Methodology for Baking Products from Wheat and Rye Flour by the Sour Dough Method. *Inzhenerernyye tekhnologii i sistemy = Engineering Technologies and Systems*. 2021;31(2):291-303. https://doi.org/10.15507/2658-4123.031.202102. 291-303. (In Russ.).
15. Shelekhov IYu, Altukhov IV, Ochirov VD. Analysis of the use of self-regulating heating elements for heated floor systems in rural areas. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021;2(196):113-120. (In Russ.).
16. Nekrasov SA. Prospects for the growth of electricity consumption in Russia based on an international comparative analysis. *Natsional'nye interesy: prioritety i bezopasnost'*. 2011;7(44):37-50. (In Russ.).
17. Shelekhov IYu, Shishelova TI, Smirnov EI, Inozemtsev VP. Combined electric heating system for timber frame houses. *Vestnik Mordovskogo universiteta = Mordovia University Bulletin.* 2017;2(27):198-214. https://doi.org/10.15507/0236-2910.027.201702.198-214. (In Russ.).
18. Shelekhov IYu, Altukhov IV, Ochirov VD. Energy-efficient design of an instantaneous water heater. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2020;67(4):3-8. https://doi.org/10.22314/2658-4859-2020-67-4-3-8. (In Russ.).

Информация об авторах

И. Ю. Шелехов,
кандидат технических наук, доцент кафедры городского строительства и хозяйства,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
e-mail: promteplo@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0002-7677-3187

В. Л. Рупосов,
кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры маркшейдерского дела и геодезии,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
e-mail: ruposov@istu.edu
https://orcid.org/0000-0003-2202-9034

А. И. Шелехова,
студент,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
e-mail: sheleh.ananas@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0001-9045-9728

Ю. С. Воронцова,
специалист по учебно-методической работе,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
e-mail: bellvorones@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-6278-8871

Information about the authors

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

Vitaliy L. Ruposov,
Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor of the Department of Mine Surveying and Geodesy,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: ruposov@istu.edu
https://orcid.org/0000-0003-2202-9034

Anastasia I. Shelekhova,
Student,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: sheleh.ananas@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0001-9045-9728

Yulia S. Vorontsova,
Specialist in Educational and Methodical Work,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: bellvorones@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-6278-8871

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.

Статья поступила в редакцию 21.01.2022.
Одобрена после рецензирования 16.02.2022.
Принята к публикации 18.02.2022.

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

The article was submitted 21.01.2022.
Approved after reviewing 16.02.2022.
Accepted for publication 18.02.2022.

Научная статья
УДК 711.4
https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-124-135

Особенности развития современных городских парков на примере города Баотоу

© Хао Цзини, Валерий Васильевич Козлов
Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия
Автор, ответственный за переписку: Хао Цзини, malex1j@yandex.ru

Аннотация. Цель исследования заключается в выявлении принципов формирования экологических парков в рамках их интеграции в городскую структуру. В ходе работы изучены актуальные информационные источники, материалы научных статей, посвященных принципам развития современных городских парков. Рассмотрены парки, построенные на территории города Баотоу (Внутренняя Монголия, Китай), в том числе Народный, Наньхайский и Экологический парк Сайхантала. Определены особенности их планирования, приемы планировочной интеграции в градостроительный контекст. В ходе работы были систематизированы принципы формирования экологических городских парков, в число данных принципов вошли: адаптация парка к местным условиям; общее планирование его базовых элементов; ориентация на людей для их сближения друг с другом и природой. В рамках исследования удалось выявить ключевые тенденции развития современных городских парков. Оно происходит под влиянием следующих групп факторов: исторических, региональных и культурных; функциональных и поведенческих; ландшафтных и экологических. С точки зрения городского строительства и развития, три элемента – природа, город и люди – тесно связаны, влияют друг на друга и представляют собой органическое целое. Строительство экологических парков способствует улучшению состояния окружающей среды и здоровья граждан. При этом тематика и структура парка должны быть интегрированы в градостроительную стратегию развития города, чтобы и в будущем он мог отвечать требованиям городского строительства. Поэтому при строительстве городского парка необходимо учитывать общее городское планирование и интеграцию с ним.

Ключевые слова: ландшафтная архитектура, городской парк, планирование, экосистема народного парка, урбанизация

Для цитирования: Хао Цзини, Козлов В. В. Особенности развития современных городских парков на примере города Баотоу // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 1. С. 124–135. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-124-135.

Original article

Development of modern urban parks on the example of Baotou city

Hao Jing, Valery V. Kozlov
Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia
Corresponding author: Hao Jing, malex1j@yandex.ru

Abstract. This research aims to identify the principles of developing ecological parks in terms of their integration into the urban structure. Relevant informational materials and scientific publications devoted to modern urban parks were investigated. On the example of the parks built in Baotou city (Inner Mongolia, China), including the Renmin Baotou, Nanhai Park and Saihantala Ecological Park, specific features of planning and integrating these entities into the urban context were defined. The principles of forming ecological city parks were classified, including: adaptation of the park to local conditions; overall planning of its basic elements; orientation towards bringing people closer to each other and to nature. Key trends in the development of modern urban parks were revealed. The influence of the following groups of factors was established: historical, regional and cultural; functional and behavioural; landscape and ecological. In terms of urban construction and development, the three elements – nature, city and people – are closely intertwined, influencing each other and constituting an organic

whole. The establishment of ecological parks in a city contributes towards improving its environment and residents' health. At the same time, in order to meet future demands, the park's thematic scope and structure should agree with the city's urban development strategy. Therefore, when constructing a city park, the strategy of its urban planning should be taken into account.

Keywords: urban parks, park design, urban space, ecosystem, urbanization

For citation: Hao Jing, Kozlov V. V. Development of modern urban parks on the example of Baotou city. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(1):124-135. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-124-135.

Введение

В рамках данного исследования ключевой задачей являлось определение тенденций развития городских парков на примере города Баотоу (Китай).

Данный город выбран как перспективный с точки зрения реализациии стратегий развития городских парков, а также повышения роли и значения парков в рамках городского хозяйства.

С учетом важности экономического развития, охраны окружающей среды и качества жизни, связанных с парками, строительству и развитию городских парков уделяется все больше внимания. Состояние их развития напрямую связано с качеством жизни городских жителей и экономическим развитием города.

Можно сформулировать следующие принципы строительства городских парков в городе Баотоу:

1) ориентация на человека;

2) целостность;

3) устойчивое развитие;

4) адаптация к местным условиям.

В рамках данного исследования были рассмотрены положительные результаты формирования городских парков в городе Баотоу. Был оценен опыт строительства городских экологических парков и выявлены три стратегии строительства и развития городских экологических парков в этом городе:

1. Обновление концепции дизайна и оптимизация использования городского пространства.

2. Усиление экологического использования городских парков.

3. Устойчивая интеграция городских парков.

С ускорением процесса урбанизации противоречие между городом и экологической средой становится все более заметным, и желание людей посещать «зеленые зоны» становится все более явным. Будучи единственной природной инфраструктурой в городе, городские парки играют незаменимую роль в улучшении экологической обстановки, качества окружающей среды.

Методы

Методы и инструменты исследования включают в себя обзор актуальных информационных источников, материалов научных статей, посвященных изучению развития современных городских парков.

Результаты и их обсуждение

Город Баотоу ранее был известен как Баокету, что на монгольском языке означает «место, где живут олени», отсюда и название «олений город». Баотоу – крупный город площадью 315 кв. км с населением 2 709 000 человек. Он расположен в центре Внутренней Монголии.

Строительство города Баотоу является одним из примеров наиболее рационального городского планирования.

В 1950-х годах в Баотоу был разработан городской план, включающий кластерную, ленточную и многоцентровую планировку, который заложил базу для формирования современной уникальной городской структуры и внедрения принципов устойчивого развития [1, 2].

Город был разделен на три крупных квартала, что позволило сместить промышленные и коммерческие районы дальше от центра. Планирование Баотоу позволило построить сбалансированную экосистему с городскими парками.

На территории города находятся такие парки, как: Народный парк, Алдинский ботанический сад, парк Сайхан Тара, Наньхайский водно-болотный парк, Олимпийский парк и другие. На рис. 1 представлены главные парки города Баотоу. Основным отличием этого города от многих других является высокий уровень озеленения городских парков, который составляет 44,16 %. Площадь зеленых насаждений общего пользования на душу населения достигает 13,55 квадратных метров. По состоянию на 2019 год в Баотоу насчитывался 151 парк и 71 сквер площадью более 10 000 квадратных метров [3].

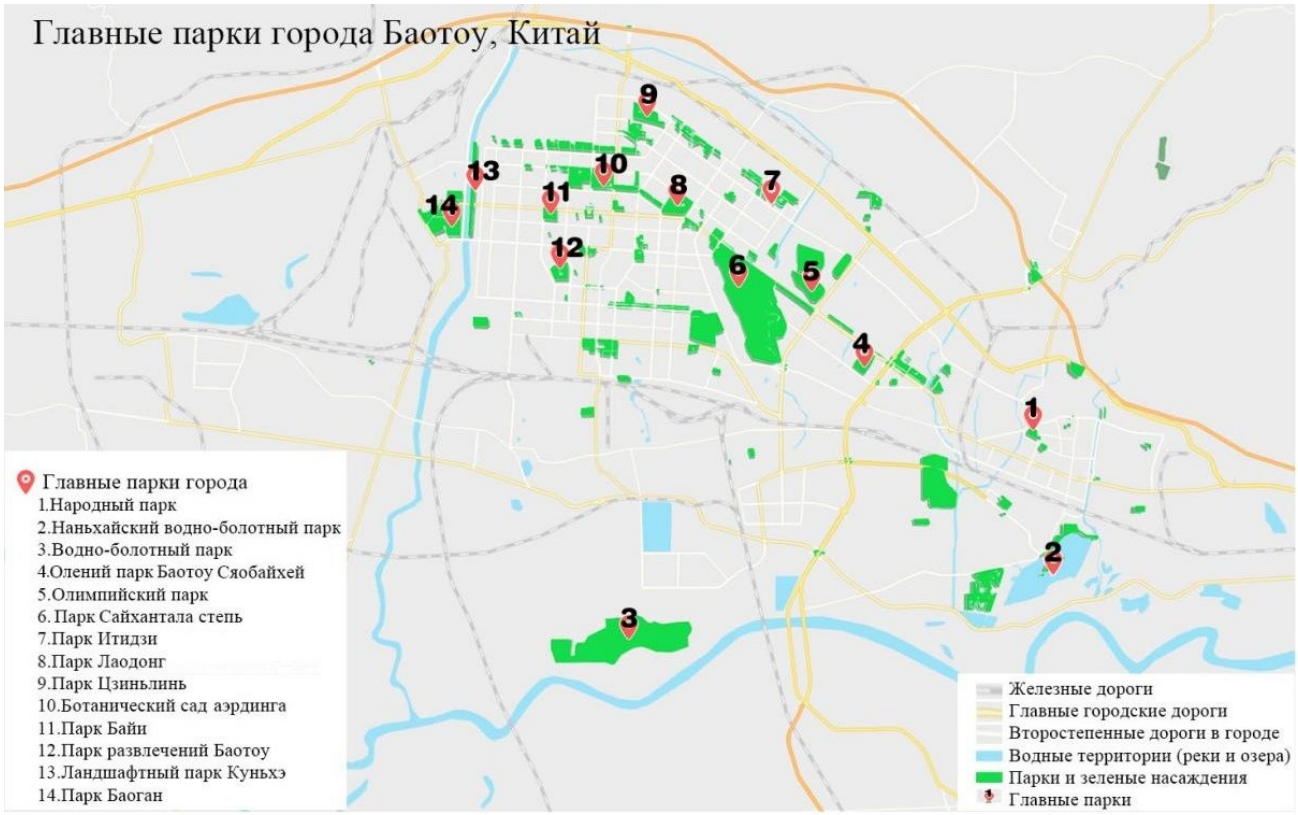


Рис. 1. Главные парки города Баотоу, Китай
Fig. 1. Main Parks of Baotou City, China

Народный парк был построен правительством как место для отдыха, развлечений и другой общественной деятельности. Он был создан в 1953 году, его площадь составляет 11,2 га, в том числе 7,84 га зеленых насаждений и 3,36 га укрепленной территории. В Народном парке произрастает 61 вид деревьев, а общее количество деревьев составляет около 7 000 [4]. Это один из первых в городе Баотоу парков с большим количеством деревьев, это комплексный парк с зелеными насаждениями, деревьями, цветами и местами отдыха.

В 1964 году правительство частично скорректировало и обновило планировку парка. Была построена новая живописная зона площадью более 2 000 квадратных метров (павильон Байхуа), а в апреле 1967 года в парке официально продавались билеты для посетителей. В том же году в восточной части парка был построен зоопарк площадью 10 000 квадратных метров, в котором содержалось 22 вида птиц и 8 видов животных. В 1987 году был построен сад бонсай площадью 2 766 кв. м, это единственный сад в Баотоу, где в течение всего года посетители могут наслаждаться видом разнообразных деревьев бонсай. В последние годы появилась дорога вокруг сада и добавлены новые проекты развлечений; зоопарк пополнился более чем 30 видами животных из разных семейств; сад насчитывает более 100 видов растений. Это самый большой и влиятельный комплексный парк в городе с элегантной обстановкой, полным набором функций и разумной планировкой [5].

В 2004 году Народный парк перешел в открытое управление и стал первым открытым парком в городе Баотоу. В 2013 году правительство вложило инвестиции для очередного преобразования ландшафта данного места, в результате произошла трансформация функций парка, и качество окружающей среды было значительно улучшено. Скорость озеленения была увеличена с 70 до 75 % [6].

Главным отличием этого парка от других является наличие туристических зон и возможности временного проживания посетителей.

На планировочной схеме Народный парк разделен на пять зон: восточную, южную, западную, северную и центральную с рекой для их естественного разделения, с различными размерами и формами, кажущимися независимыми и взаимосвязанными, при этом каждая зона имеет разные характеристики.

Северная зона – игровая зона отдыха, здесь установлены различные детские игровые комплексы, тренажеры и т.д., чтобы посетители могли играть, заниматься фитнесом, отды-

хать.

Западная зона – зона водных игр и экскурсий Яньху, где расположены места для прогулок, водные павильоны, павильоны на берегу озера, мосты из белого камня, пагода Чжунхэ и другие сооружения.

В последние годы районные власти приложили большие усилия для полной реконструкции этой территории, углубляя дно озера, ремонтируя старинные здания, меняя первоначальный каменный склон вдоль Западного озера на естественный скальный склон, засаживая большую площадь зелеными насаждениями, создавая органичное сочетание камней, озерной воды и растений, полностью отражающее естественную среду.

Южная зона – зона наблюдения за животными, самый большой зоопарк в Баотоу, здесь обитает более 30 видов редких и национально охраняемых животных, таких как амурский тигр, африканский лев, дальневосточный леопард, черный леопард, бурый медведь, бегемот, лось и японский журавль [7].

Восточная зона – зона культурной деятельности, где расположены северный и южный павильон и международный выставочный зал, а также большая площадь (4 000 кв.м), создающая условия для проведения в парке различных культурных мероприятий. В юго-восточном углу парка сохранили и отреставрировали Павильон Цзанцзин Ронг Юань, он стал выглядеть древнее и эффектнее [8].

В центральной части восточной зоны находится зал *Hsien Mi Yuan Tong Hall*, который был родовым залом семьи Ли, члены которой читали в нем сутры и проповедовали буддизм. Он был восстановлен и открыт для посетителей.

В Народном парке соединяется культурный подтекст китайского садово-паркового искусства и современный гуманистический ландшафт, формируется новая модель сочетания древнего и простого, подходящая для пожилых и молодых, объединяющая в себе движение и неподвижность, торговлю и отличный сервис. Народный парк известен как «изумруд», расположенный в шумном центре города, это самый большой парк в городе. В парке есть павильоны, в том числе Паньцзин, сады и т.д.

Основными достопримечательностями являются Холм ста цветов, Каменный барьер, Лужайка османтуса, Променад гибискуса, Зал отражающей воды, Павильон полуострова, Павильон Сонгтао и Китайский сад, которые спроектированы и оформлены с учетом особенностей Цзяннаньского сада (рис. 2) [9].

На рис. 3 показаны расположение и план парка, в котором отражены его функциональные зоны. Далее рассмотрим реализацию экологического лугового парка Сайхантала – современного туристического объекта с сильным этническим колоритом.

Это оригинальная экосистема водно-болотных угодий в городе Баотоу, также известная как Экологический парк пастбищ Чингисхана («Сайхан Тара» в переводе с монгольского означает «красивые пастбища»). Он расположен между пятью городскими районами Баотоу, его общая площадь составляет 770 га, включая 150 га леса и 500 га луга, с длиной узкой части с севера на юг 4,1 км и шириной 2,2 км с востока на запад; высота над уровнем моря составляет 1034–1058 метров; это самый большой естественный луговой парк в Китае.

16 октября 1985 года городское народное правительство Баотоу приняло решение выделить эту территорию в качестве общественного зеленого пространства, а в 1994 году городское народное собрание Баотоу инициировало создание парка Сайхантала. Муниципальное правительство Баотоу придает большое значение данному проекту и называет этот парк важным элементом экономического развития Баотоу в XXI веке [10].

В 2001 году городской комитет партии и городское правительство включили экологический парк в проект имиджа города Баотоу, переименовали его в Экологический парк пастбищ Чингисхана и начали воплощать проект строительства его инфраструктуры, завершив работы по устройству главной кольцевой дороги парка, живописной зоны перед воротами, экологической ограды и проект озеленения [11].

В конце 2003 года было завершено строительство водной системы парка и зоны экспозиции этнической культуры. После двух лет восстановления, защиты и строительства экологическое состояние парка сильно изменилось, появилось большое количество зайцев, кур и различных перелетных птиц. Трава и деревья образуют редкий естественный лесной травяной ландшафт [12].

В этом городском парке общей площадью более 10 000 м^2 находится 1000-акровый лес из красной ивы и естественный заболоченный луг площадью более 2 000 м^2, покрытый в основном тростником.

В данной местности обитает более 30 видов диких животных, а также произрастает 53 вида растений, в том числе 23 вида деревьев и кустарников [13].

Рис. 2. Народный парк в Баотоу
Fig. 2. Baotou People's Park

Парк священных оленей Сайхантала является главным местом отдыха и развлечений в городе Баотоу, он привлекателен для туризма и удобен наличием точек общественного питания. Ковер зеленой травы, цветы, деревья, свежий воздух, прирученные пятнистые олени, свободно пасущиеся под голубым небом с белыми облаками, и радостные посетители создают картину единения человека и природы, мира и любви, и это становится главной изюминкой экологического парка (рис. 4).

Рис. 3. Функциональные зоны Народного парка Баотоу
Fig. 3. Functional areas of the Baotou People's Park

Наньхайская водно-болотная живописная зона расположена во Внутренней Монголии, к юго-востоку от города Баотоу, на берегу Желтой реки и занимает площадь 2992 га, в том числе 713 га воды. Национальный водно-болотный парк располагается на 1328 га, площадь угодий составляет более 1664 га. Пейзаж парка, известного как Западное озеро за пределами Приморья, уникален. Отдых в нем может иметь одновременно туристическую, экологическую и научно-популярную направленность. Репутация данной территории высока, это туристический живописный район, заповедник национального уровня АААА, расположенный в автономном районе.

В 1985 году эта территория была открыта как зона туристического развития. Муниципальное правительство Баотоу официально присвоило парку название расположенного в нем озера Наньхай. Согласно плану строительства города Баотоу и генеральному плану Наньхайского парка, за 20 лет данный парк был создан и стал многофункциональной туристической живописной зоной, в которой туризм является основным направлением деятельности, а сельское хозяйство – дополнительным [14]. В озере Наньхай обитают золотокрылые карпы, караси и другие виды рыб, водно-болотные угодья Наньхая богаты природными ресурсами, там произрастает 36 семейств, 93 рода и 137 видов диких растений. Здесь обитает и отдыхает 201 вид птиц, в том числе 13 охраняемых видов, включая такие редкие, как реликтовые чайки, черные аисты и гигантские лебеди. Наньхайское болото является воплощением формирования экосистемы болот Желтой реки, а его экологический тип окружающей среды уникален.

В 2008 году Наньхайское болото было названо национальной туристической живописной зоной уровня АААА [15]. В том же году народное правительство автономного района Внутренняя Монголия утвердило его в качестве провинциального заповедника водно-болотных угодий Желтой реки. Наньхайская водно-болотная живописная зона представлена на рис. 5, отражающем историческое изменение ландшафта.

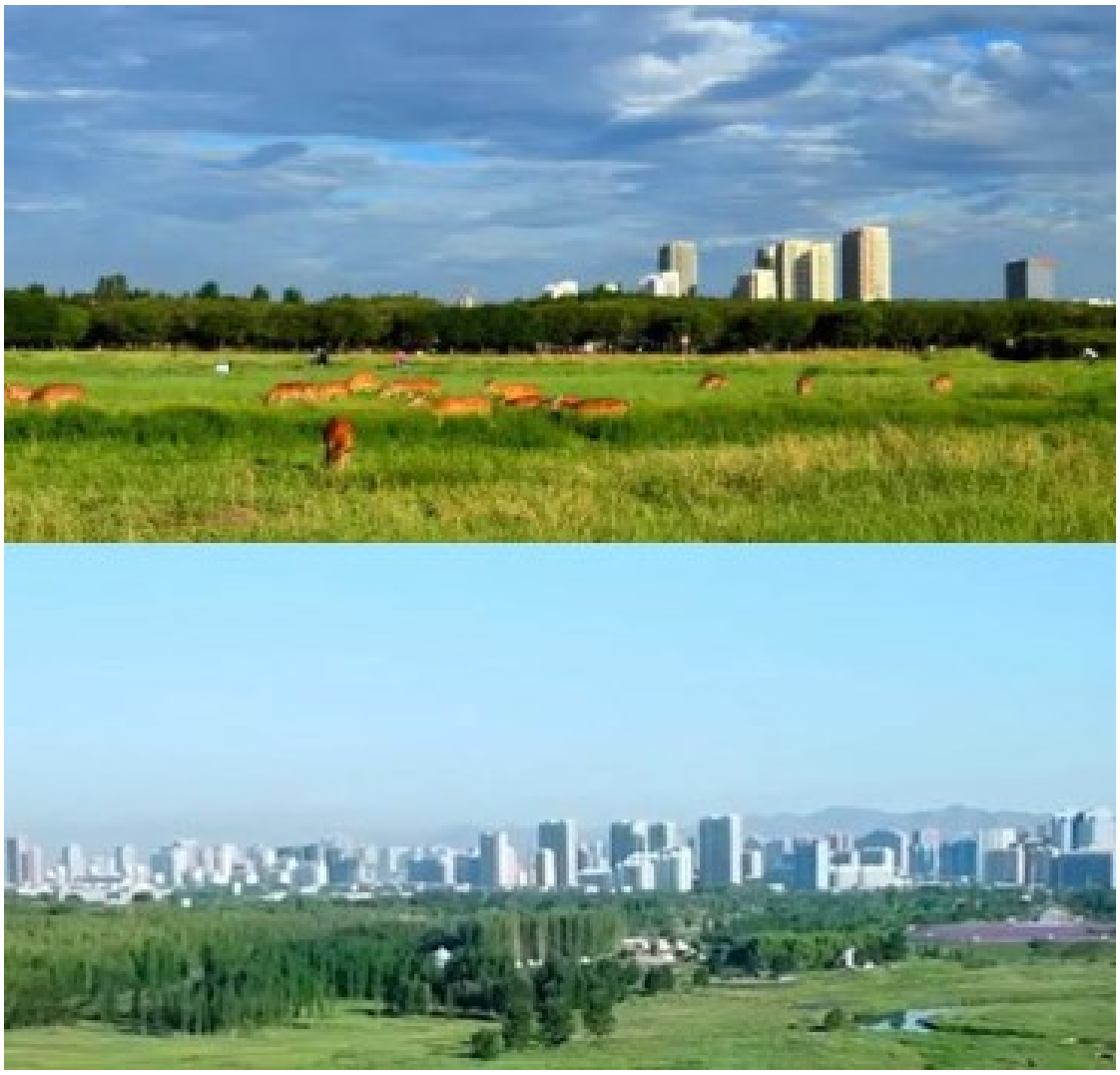


Рис. 4. Экологический парк Сайхантала
Fig. 4. Saikhantala Ecological Park

На рис. 5 представлен паромный порт Наньхайцзы на Желтой реке на территории города Баотоу (Внутренняя Монголия) в период в 1929–1937 гг. Тогда это было место остановки людей, передвигающихся на лодках. Также на рис. 5 представлен Наньхайский водно-болотный парк г. Баотоу, возведенный на месте порта. Фотография 2007 г. демонстрирует вход в парк [16].

Далее рассмотрим принципы строительства городских парков в городе Баотоу.

Возведение парков может улучшить качество городской среды и украсить ее. Основной задачей озеленения городских парков является улучшение экологической обстановки. С развитием промышленности в атмосферу выбрасывается все больше вредных газов, которые серьезно загрязняют воздух. Растения могут поглощать их, очищать воздух, ослаблять шум, регулировать температуру в городе и улучшать общую среду обитания [17, 18].

Городское озеленение – это воплощение материальной культуры, но также и символ духовного развития города. Для городского парка характерна разумная планировка, изысканная архитектура, оснащение оборудованием, совершенное управление, упорядоченная работа и озеленение: повсюду трава и цветы, пышная зелень круглый год. Жизнь в городе с такими красивыми пейзажами и гармоничной экологической средой сделает людей более здоровыми физически и психически, более энергичными и творческими, и, конечно, будет способствовать социальному развитию и экономическому процветанию, город станет местом, к которому стремятся люди.

Рис. 5. Наньхайская водно-болотная живописная зона в 1929–1937 гг. (сверху) и 2007 г. (снизу)
Fig. 5. Nanhai Wetland Scenic Area in 1929–1937 (top) and 2007 (below)

Исходя из проведенного анализа, стоит отметить, что масштаб и качество строительства городских парков тесно связаны с улучшением городской среды, их взаимосвязь прослеживается в следующих принципах:

1. Принцип адаптации к местным условиям.

Современный ландшафтный дизайн городского парка должен быть адаптирован к социальной среде, в которой он расположен: местным и культурным обычаям, эстетическим представлениям и т.д. В процессе современного ландшафтного дизайна и планирования городского парка должно быть продумано его сочетание с природными условиями, такими как: почва, водная и наземно-воздушная среда, типы растений, виды животных, а также солнечный свет и т.д. Все вышеперечисленное должно быть включено в современное ландшафтное планирование городского парка [19].

2. Принцип общего планирования.

Городской парк – это синтез городского паркового ландшафта и природы. Грамотное планирование позволит сделать современный ландшафт городского парка более благоприятным для реализации его функций через общее планирование и координировать отношения между парком и городом. Современное планирование ландшафта городского парка должно

начинаться с определения его общего характера и масштаба, выбора места, использования пространственного, экологического, функционального дизайна и других способов превращения территории в согласованное органическое целое, что позволит улучшить окружающую среду, оптимизировать пространство, сформировать привлекательный образ и реализовать другие функции парка [20].

3. Принцип ориентации на людей.

Современные городские парки подчеркивают гармоничные отношения между людьми, близость человека и природы, общее развитие людей и общества, поэтому современное планирование ландшафта городского парка должно опираться на важнейший принцип ориентации на людей. При разработке дизайна и плана парка в центре внимания оказывается разнонаправленное взаимодействие людей друг с другом, природой и обществом, в современном городском парковом ландшафте подчеркивается важность людей, отражаются гуманистические ценности и забота о человеке. Городские парки удовлетворяют все больше физических и психологических потребностей людей в современном обществе, что делает их все более благоприятными для посещения жителями города.

Городской парк – это общественное место для отдыха и наблюдения за природой. Строительство, обслуживание и преобразование парка должны отражать концепцию ориентации на людей. Нужно, чтобы пространство и объекты в городских парках были организованы с учетом поведения и психологических потребностей посетителей, могли удовлетворить различные потребности разных групп людей. Дизайнерам приходится задумываться над вопросом, как создать городской парк, который бы стал действительно привлекательным местом отдыха для жителей.

Рассмотрим ключевые тенденции развития городских парков Баотоу. Оно происходит под влиянием следующих групп факторов:

1. Исторических, региональных и культурных.

С развитием мышления людей их требования к паркам перестали ограничиваться наличием травы и деревьев и стали включать внедрение более глубокого культурного подтекста. Однако из-за шаблонности городского строительства дизайн парков во многом совпадает, а культурные и исторические особенности в них не отражаются. При проектировании таких мест нужно больше внимания уделять региональным особенностям, местным обычаям и истории, чтобы создать городские парки, которые соответствовали бы современным условиям жизни и в которых наблюдалось бы развитие с улучшением качества.

2. Функциональных и поведенческих факторов.

Многофункциональные городские парки пользуются единодушной поддержкой общественности. С начала XXI века у людей появляется все больше требований к паркам, однофункциональные парки уже не соответствуют современному ритму жизни. Таким местам отдыха необходима диверсификация функций, чтобы адаптироваться к развитию общества и соответствовать требованиям времени. В то же время необходимо учитывать психологию общественного поведения и особенности ландшафта, чтобы добиться рационального и привлекательного дизайна. В соответствии с рассматриваемыми тенденциями дизайн современных городских парков будет развиваться в направлении многофункциональности, будут создаваться многопрофильные городские парки с рекреационной, эстетической, экологической и развлекательной функциями.

3. Ландшафтных и экологических факторов.

Городской парк – это общественное место, открытое для всех граждан, ландшафт которого может восприниматься посетителями поразному. Многие ранее созданные городские парки имеют плоский монотонный пейзаж, который может вызвать у людей зрительное утомление. Поэтому новый дизайн городских парков должен перейти от плоского ландшафтного дизайна к трехмерному. Также важна интеграция парка и окружающих его зданий, чтобы у людей была возможность проводить в нем больше свободного времени. Развитие современных городских парков направлено, в первую очередь, на извлечение экологической и социальной пользы. Таким образом, современные городские парки должны не только обладать привлекательностью, но и выполнять экологические функции, а также адаптироваться к городской застройке и потребностям жителей и соответствовать их требованиям. Поэтому для современных городских парков тенденцией развития является эффективное использование небольших фрагментированных городских пространств, то есть развитие в направлении создания большего количества карманных парков.

Заключение

С точки зрения городского строительства и развития, три элемента – природа, город и люди – представляют собой системное органическое целое, элементы которого связаны между собой и влияют друг на друга. Строительство экологических парков на территории городов является цивилизационной формой городского строи-

тельства, и его основной смысл заключается в признании экологической ценности природы и важности здоровья граждан. Городские парки, являясь основным городским общественным пространством, обеспечивают людям отдых и одновременно с этим выполняют функции улучшения экологии, эстетического воспитания, формирования ландшафта и т.д. Они не только снижают влияние существующих проблем пространства, окружающей среды и спроса, но и играют немаловажную роль в наследовании культурных достижений города и стимулировании экономического развития. Тематика и объекты парка должны соответствовать намеченному направлению развития города, чтобы место отдыха и в будущем могло отвечать требованиям городского строительства. Поэтому при создании городского парка необходимо учитывать общее городское планирование и необходимость интеграции с ним.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Bu Sh. Analysis of the ideas of landscape design of the design element of modern urban parks // Network of magazines. 2019. № 9. p. 98-105.
2. Wang Ts. Park City: a new model of urban construction in a new era // What to do in the city. 2020. № 14. p. 856-864.
3. Еникеева Л. М., Чичканова В. Ю., Прокофьев Е. И. Урбанизированная ландшафтная архитектура в формообразовании современного города // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. № 2. С. 56–66.
4. Li V., Hao V., Zhou P. Tibetan analysis of ecological design of the theme park of folk culture // Northern Horticulture. 2014. № 6. p. 84-86.
5. Li L. The construction of the National Park contributes to the development of ecological civilization // Economic Information Daily. 2019. № 45. p. 236-241.
6. Liu L., Ma T. New changes in the structure of environmental risks in the Yangtze River Economic Belt // Ecological economics. 2018. № 15. p. 61-63.
7. Ma T., Jiang Yu. Thoughts on creating and improving an environmental compensation system // Ecological Economics. 2017. № 33 (9). p. 184-187.
8. Пушкарева А. С. Современные тенденции в развитии городских парковых ландшафтов Америки // Молодой исследователь Дона. 2017. № 6. С. 73–75.
9. Сотникова В. О. Ландшафтная архитектура. Ульяновск: УлГТУ, 2010. 145 с.
10. Sun Yu. The application of color design in the design of urban parks // Bulletin of the North-Eastern Agricultural University. 2016. № 8. p. 25-32.
11. Khan D. Analysis of elements of landscape design of memorial parks // Beauty and Times. Creation. 2012. № 2. p. 60-62.
12. Huang Yu., Ma T. Improving the system and mechanism for promoting the construction of national parks // Ecological Economics. 2018. № 19. p. 86-89.
13. Хэн Ч., Чжэнь Л., Цзинь В. Применение оригинального экологического дизайна в городском ландшафтном дизайне // Исследование строительных технологий. 2020. № 3 (7). p. 58-68.
14. Tsai C. Principles of landscape ecological design of urban parks // Collaboration. 2020. № 38. p. 124-131.
15. Ji K. Application of the original landscape design of the ecological environment in urban parks // Journal of Public Service. 2019. № 6. p. 157-165.
16. Jiang Sh. Analysis of the integration of architectural design and landscape design: the path to harmony between architecture and landscape // Heihe Education. 2016. № 7. p. 74-76.
17. Jiao Ts., Mu Ch. Design and application of regional cultural elements in urban landscape planning // Jiangxi building materials. 2020. № 7. p. 37-39.
18. Zhao Sh., Chen E. Discussion of landscape ecology // Chinese landscape architecture. 2011. № 3. p. 8-10.
19. Zhenwei V. The study of the strategy of ecological landscape design // Design and construction management. 2020. № 2 (8). p. 61-64.
20. Chen S. Application of the sponge city theory in urban landscape design // Modern gardening. 2020. № 15. p. 160-161.

REFERENCES

1. Bu Sh. Analysis of the ideas of landscape design of the design element of modern urban parks. *Network of magazines*. 2019;9:98-105.
2. Wang Ts. Park City: a new model of urban construction in a new era // What to do in the city. 2020, No.14, pp. 856-864.

3. Enikeeva LM, Chichkanova VYu, Prokofiev EI. Urbanized landscape architecture in the formation of a modern city. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2018;2:56-66. (In Russ.).
4. Li V, Hao V, Zhou P. Tibetan analysis of ecological design of the theme park of folk culture. *Northern Horticulture*. 2014;6:84-86.
5. Li L. The construction of the National Park contributes to the development of ecological civilization. *Economic Information Daily*. 2019;45:236-241.
6. Liu L, Ma T. New changes in the structure of environmental risks in the Yangtze River Economic Belt. *Ecological economics*. 2018;15: 61-63.
7. Ma T, Jiang Yu. Thoughts on creating and improving an environmental compensation system. *Ecological Economics*. 2017;33(9):184-187.
8. Pushkareva AS. Modern trends in the development of American urban park landscapes. *Molodoi issledovatel' Dona*. 2017;6:73-75. (In Russ.).
9. Sotnikova VO. Landscape architecture. Ulyanovsk: UlSTU; 2010. 145 p. (In Russ.).
10. Sun Yu. The application of color design in the design of urban parks. *Bulletin of the North-Eastern Agricultural University*. 2016;8:25-32.
11. Khan D. Analysis of elements of landscape design of memorial parks. *Beauty and Times. Creation*. 2012;2:60-62.
12. Huang Yu, Ma T. Improving the system and mechanism for promoting the construction of national parks. *Ecological Economics*. 2018;19: 86-89.
13. Han C, Zheng L, Jin V. Application of the original ecological design of urban landscape design. *The study of building technology*. 2020;3(7):58-68.
14. Tsai C. Principles of landscape ecological design of urban parks. *Collaboration*. 2020;38:124-131.
15. Ji K. Application of the original landscape design of the ecological environment in urban parks. *Journal of Public Service*. 2019;6:157-165.
16. Jiang Sh. Analysis of the integration of architectural design and landscape design: the path to harmony between architecture and landscape. *Heihe Education*. 2016;7:74-76.
17. Jiao Ts, Mu Ch. Design and application of regional cultural elements in urban landscape planning. *Jiangxi building materials*. 2020;7: 37-39.
18. Zhao Sh., Chen E. Discussion of landscape ecology. *Chinese landscape architecture*. 2011;3:8-10.
19. Zhenwei V. The study of the strategy of ecological landscape design. *Design and construction management*. 2020;2(8):61-64.
20. Chen S. Application of the sponge city theory in urban landscape design. *Modern gardening*. 2020;15:160-161.

Информация об авторах

Хао Цзини,
аспирант кафедры
архитектуры и градостроительства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
e-mail: malex1j@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0003-0167-9265

В. В. Козлов,
кандидат архитектуры,
профессор кафедры архитектуры
и градостроительства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
e-mail: c06@istu.edu, v06istu.edu
https://orcid.org/0000-0003-0896-4149

Information about the authors

Hao Jing,
Postgraduate Student of the Department
of Architecture and Urban Planning,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,
e-mail: malex1j@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0003-0167-9265

Valery V. Kozlov,
Cand. of Architecture,
Professor of the Department of Architecture
and Urban Planning,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,
e-mail: c06@istu.edu, v06istu.edu
https://orcid.org/0000-0003-0896-4149

Вклад авторов

Хао Цзини, Козлов В. В. имеют равные авторские права. Хао Цзини несет ответственность за плагиат.

Contribution of the authors

Hao Jing, Kozlov V. V. have equal author's rights. Hao Jing 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.

Статья поступила в редакцию 19.01.2022.
Одобрена после рецензирования 14.02.2022.
Принята к публикации 15.02.2022.

The article was submitted 19.01.2022.
Approved after reviewing 14.02.2022.
Accepted for publication 15.02.2022.

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:

из отрасли 05.00.00 Технические науки:

Группа специальностей **05.23.00 Строительство и архитектура (ВАК):**

- 05.23.01 Строительные конструкции, здания и сооружения
- 05.23.02 Основания и фундаменты, подземные сооружения
- 05.23.03 Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение
- 05.23.04 Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов
- 05.23.05 Строительные материалы и изделия
- 05.23.07 Гидротехническое строительство
- 05.23.08 Технология и организация строительства
- 05.23.11 Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей
- 05.23.16 Гидравлика и инженерная гидрология
- 05.23.17 Строительная механика
- 05.23.19 Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства
- 05.23.20 Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия
- 05.23.21 Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности
- 05.23.22 Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов

из отрасли 08.00.00 Экономические науки:

Специальность **08.00.05 Экономика и управление народным хозяйством: экономика, организация, управление предприятиями, отраслями, комплексами (строительство), управление инновациями, региональная экономика (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 Exsel, с приложением файлов.

Для построения графиков и диаграмм следует использовать программу *Microsoft Office Excel*. Каждый рисунок вставляется в текст как объект *Microsoft Office Excel*.

Внимание! Публикация статьи является бесплатной.

Статьи направляются в редакцию журнала по электронной почте izv_isn@istu.edu. Рукописи статей и оригиналы всех необходимых документов предоставляются по адресу: 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, редакционный отдел, ауд. Д-215, 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– Герасимова Юлия Александровна, редактор.

ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ
ИНВЕСТИЦИИ. СТРОИТЕЛЬСТВО. НЕДВИЖИМОСТЬ

Научный журнал ***12+***

Том 12 № 1 (40)

Главный редактор В. В. Пешков
Ответственный за выпуск О. В. Никишина
Дизайн и макет издания Е. В. Хохрина
Перевод Томаса Бивитта, О. В. Никишиной
Верстка О. В. Никишиной
Редактор Ю. А. Герасимова

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 30.03.2022. Формат 60 x 90 / 8 (А4).
Бумага офсетная. Печать цифровая. Усл. печ. л. 18,0.
Тираж 500 экз. Зак. 24. Поз. плана 6н.

Издание распространяется бесплатно

ФГБОУ ВО “Иркутский национальный исследовательский технический университет”
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

Отпечатано в типографии Издательства
ФГБОУ ВО “Иркутский национальный исследовательский технический университет”
Адрес типографии: 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83А

ВЫСШАЯ АТТЕСТАЦИОННАЯ КОМИССИЯ (ВАК)
Министерства образования и науки Российской Федерации

НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ БИБЛИОТЕКА
eLIBRARY.RU

РОССИЙСКИЙ ИНДЕКС НАУЧНОГО ЦИТИРОВАНИЯ
Science Index

ULRICHSWEB™
GLOBAL SERIALS DIRECTORY

Российская Государственная Библиотека

ВИНИТИ

EBSCO A-to-Z

CYBERLENINKA

OPEN ACCESS

BASE

doi

Crossref
Content Registration

СОЦИОНЕТ

DOAJ DIRECTORY OF OPEN ACCESS JOURNALS

INDEX COPERNICUS INTERNATIONAL

Google Scholar

АНРИ
Ассоциация научных редакторов и издателей

Academic Resource Index ResearchBib

OCLC WorldCat

Jisc copac

UNIVERSITY OF OXFORD

EuroPub