

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

12+



IZVESTIYA VUZOV
Investitsii
Stroitelstvo
Nedvizhimost

ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ
ИНВЕСТИЦИИ
СТРОИТЕЛЬСТВО
НЕДВИЖИМОСТЬ

Том 12 № 3
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 № 3
Vol.



ИЗДАТЕЛЬСТВО
Иркутского национального исследовательского
технического университета

PUBLISHERS
of Irkutsk National Research Technical University
2022



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

Издание предназначено для научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов вузов, специалистов инвестиционно-строительной сферы, государственных и муниципальных органов власти.

Журнал включен в Перечень ведущих научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук, утвержденный ВАК Минобразования России

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

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

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

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

Учредитель-издатель:

ФГБОУ ВО Иркутский национальный исследовательский технический университет

Подписной индекс в ООО «Урал-Пресс» - 41511

Адрес ООО «Урал-Пресс»:

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

Адрес учредителя, издателя и редакции:

664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

e-mail: izv_isn@istu.edu

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Founder, publisher: FSBEIHE Irkutsk National Research Technical University

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

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

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

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Стенников В. А., доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, директор Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, председатель научно-экспертного совета по энергоэффективности (г. Иркутск, Российская Федерация)

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

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

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

Хомкалов Г. В., доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры экономики и управления инвестициями и недвижимостью Байкальского государственного университета (г. Иркутск, Российская Федерация)

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

Яськова Н. Ю., доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой инвестиционно-строительного бизнеса, Институт отраслевого менеджмента, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации (г. Москва, Российская Федерация)

EDITORIAL BOARD

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

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

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

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

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

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

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

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

Dimitra Nikolau, Doctor of Architecture, Professor, Department of Urban and Regional Planning of School of Architecture of Athenes National Technical University (Athenes, Greece)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Matveeva M. V., Doctor of Economic Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Real Estate Expertise and Management of Irkutsk National Research Technical University (Irkutsk, Russian Federation)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Khomkalov G. V., Doctor of Economical Sciences, Professor, Professor of the Department of Economics and Management of Investment and Real Estate, Baikal State University (Irkutsk, Russian Federation)

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

Yaskova N. Yu., Doctor of Economical Sciences, Professor, Head of the Department of Investment and Construction Business, Institute of Industry Management, The Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (Moscow, Russian Federation)

СОДЕРЖАНИЕ

Известия вузов
Инвестиции. Строительство. Недвижимость

Том 12 № 3 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

- Ямщикова И. В., Дорошенко Т. Г., Головина Н. В.** Анализ дополнительных затрат на зимнее удорожание в составе стоимости строительства 318

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. СТРОИТЕЛЬСТВО

- Душин А. С.** Выявление участков, не позволяющих обеспечить надежное функционирование системы подачи и распределения воды 326
- Ластовка А. В., Данченко Т. В., Петухова И. Я., Поляков И. А.** Нанотехнологии в области производства бетона 338
- Наумов И. В.** К вопросу о пожарной безопасности при строительстве индивидуальных жилых домов 350
- Пинус Б. И., Корнеева И. Г., Балхеева В. Д.** Усталостная долговечность изгибаемых железобетонных элементов со смешанным армированием 362
- Продоус О. А., Шлычков Д. И., Малышева А. А.** Анализ изменений эпюры скоростей в самотечных сетях водоотведения с разной толщиной слоя отложений в лотковой части труб 368
- Скворцова Я. В., Безруких О. А.** Совершенствование процессов производства и организации работ в малоэтажном жилищном строительстве 374
- Соболев В. И., Кармазинов Д. А.** Оценка приемлемости и погрешности применения спектральных разложений в задачах динамики нелинейных многомерных систем 384
- Цховребов Э. С., Костарев С. Н., Середа Т. Г., Ниязгулов Ф. Х.** Математические методы обоснования и логическое моделирование ресурсосберегающей системы экологически безопасного жизнеобеспечения 394

АРХИТЕКТУРА. ДИЗАЙН

- Глебова Н. М., Кламер М.** Современная сакральная архитектура как символ архитектурной идентичности и общественное пространство в условиях зимнего города 408
- Дружинина И. Е.** Гаражная амнистия и/или комплексное развитие территорий? 420
- Трухин В. И., Яровой Б. П.** Архитектурно-пространственные данные: к вопросу о конструкции стен Албазинского острога 430
- Хао Цзини, Козлов В. В.** Исследование развития и строительства современных городских парков в Китае 442
- Черных О. И.** Обзор дачного строительства Петербургской губернии с XVIII до начала XX века (типология поселений и периодизация) 458

CONTENTS

Proceedings of Universities
Investment. Construction. Real estate

Том 12 № 3 2022

CONTENTS

ECONOMICS AND MANAGEMENT

- Yamshchikova I. V., Doroshenko T. G., Golovina N. V.** Analysis of incremental costs associated with construction works during winter periods 318

TECHNICAL SCIENCES. CONSTRUCTION

- Dushin A. S.** Identification of sections inhibiting the reliable operation of water supply and distribution systems 326
- Lastovka A. V., Danchenko T. V., Petukhova I. Ya., Polyakov I. A.** Nanotechnologies in concrete production 338
- Naumov I. V.** Revisiting the issue of fire safety in private housing construction 350
- Pinus B. I., Korneeva I. G., Balheeva V. D.** Fatigue life of bending reinforced concrete elements with fibre-reinforced matrices 362
- Prodous O. A., Shlyichkov D. I., Malysheva A. A.** Analysis of changes in the velocity diagram of gravity sewer networks with different thickness of sediment layer in the chute section of pipes 368
- Skvortsova Y. V., Bezrukikh O. A.** Improvement of operational processes in low-rise housing construction 374
- Sobolev V. I., Karmazinov D. A.** Assessment of the applicability and error of eigendecomposition in the problems of nonlinear multidimensional system dynamics 384
- Tshovrebov E. S., Kostarev S. N., Sereda T. G., Niyazgulov F. H.** Mathematical methods of substantiating and logical modelling of a resource-saving environmentally safe critical infrastructure system 394

ARCHITECTURE. DESIGN

- Glebova N. M., Klamer M.** Contemporary sacral architecture as a symbol of architectural identity and a public space in a winter city 408
- Druzhinina I. E.** Garage amnesty and/or integrated territorial development? 420
- Trukhin V. I., Yarovoi B. P.** Architectural and spatial data: revisiting the wall structure of the Albazino Ostrog 430
- Hao Jingyi, Kozlov V. V.** Development of contemporary urban parks in China 442
- Chernykh O. I.** A review of dacha construction in the St. Petersburg province from the 18th to the beginning of the 20th century (settlement typology and periodisation) 458



Анализ дополнительных затрат на зимнее удорожание в составе стоимости строительства

© Ирина Валентиновна Ямщикова¹, Татьяна Геннадьевна Дорошенко²,
Наталья Викторовна Головина³

¹Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

²Байкальский государственный университет, г. Иркутск, Россия

³ООО «Метра Групп», г. Иркутск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Ямщикова Ирина Валентиновна, yamsirina@yandex.ru

Аннотация. Цель – рассмотреть и проанализировать величину затрат на удорожание работ в зимний период в связи с появлением новой Методики (утверждена Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 25 мая 2021 г. N 325/пр) взамен ранее действующих методик ГСН 81-05-02-2007 «Сборник сметных норм дополнительных затрат при производстве строительно-монтажных работ в зимнее время» и ГСНр 81-05-02-2001 «Сборник сметных норм дополнительных затрат при производстве ремонтно-строительных работ в зимнее время». Исследование проведено с использованием методов экономико-статистического анализа, систематизации теоретического и практического материала, системного метода. Авторами проанализированы условия, связанные с воздействием отрицательной температуры на ход строительно-монтажных и ремонтных работ, предложена классификация данных условий. Рассмотрены и проанализированы затраты на временное отопление зданий, законченных вчерне, в пределах отопительного периода. На основе результатов анализа авторами предложены направления усовершенствования расчета затрат на удорожание строительно-монтажных работ в зимнее время в целях оптимизации затрат на строительство объектов.

Ключевые слова: зимнее удорожание строительно-монтажных работ, производство строительных работ в зимнее время, временное отопление зданий

Для цитирования: Ямщикова И. В., Дорошенко Т. Г., Головина Н. В. Анализ дополнительных затрат на зимнее удорожание в составе стоимости строительства // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 3. С. 318–325. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-3-318-325>.

Original article

Analysis of incremental costs associated with construction works during winter periods

Irina V. Yamshchikova¹, Tatyana G. Doroshenko², Natal'ya V. Golovina³

¹Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

²Baikal State University, Irkutsk, Russia

³Metra Grupp LLC, Irkutsk, Russia

Corresponding author: Irina V. Yamshchikova, yamsirina@yandex.ru

Abstract. Incremental costs associated with construction works during winter periods are considered in relation to the new calculation method implemented by the Order of the Ministry of Construction, Housing and Utilities of the Russian Federation of May 25, 2021, No 325/pr, instead of the previously used methods specified in the ГСН 81-05-02-2007 “Collection of estimation standards for additional costs during execution of construction and installation works in winter periods” and ГСНр 81-05-02-2001 “Collection of estimation standards for additional costs during execution of construction and repair works in winter periods”. The research was conducted using the methods of economic and statistical analysis, review of theoretical and practical materials, as well as the system approach. The

conditions determining the impact of negative temperatures on construction and repair works are analyzed and classified. The costs associated with temporary heating of facilities completed within the heating period are analyzed. On the basis of the results obtained, directions for improving calculations of incremental costs when executing construction and installation works in winter periods are proposed with the purpose of optimizing costs of construction objects.

Keywords: winter increase in the cost of construction and installation works, construction works in winter, temporary heating of buildings

For citation: Yamshchikova I. V., Doroshenko T. G., Golovina N. V. Analysis of incremental costs associated with construction works during winter periods. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2022;12(3): 318-325. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-3-318-325>.

Введение

В результате модернизации системы ценообразования в отрасли «Строительство» [1, 2] крайне актуально появление новой Методики определения дополнительных затрат при производстве работ в зимнее время, утвержденной приказом Минстроя России от 25 мая 2021 г. №325/пр. (далее – Методика №325/пр.). Данная Методика вступила в силу 8 августа 2021 г. [3, 4].

Ранее действующие методики ГСН 81-05-02-2007 «Сборник сметных норм дополнительных затрат при производстве строительно-монтажных работ в зимнее время» и ГСНр 81-05-02-2001 «Сборник сметных норм дополнительных затрат при производстве ремонтно-строительных работ в зимнее время» на время переходного периода оставлены в Реестре действующих сметных нормативов [5, 6]. Однако рекомендовано при составлении новой сметной документации использовать новую Методику №325/пр, основываясь на том, что по истечении переходного периода методики ГСН 81-05-02-2007 и ГСНр 81-05-02-2001 будут отменены.

В соответствии с Методикой №325/пр, дополнительные затраты на зимнее удорожание при производстве строительных (ремонтно-строительных) работ и работ по монтажу оборудования определяются двумя методами:

1. Нормативным – в соответствии с главой II Методики №325/пр, в процентах от стоимости строительно-монтажных (ремонтно-строительных) работ. Величина процента зависит от климатического района и вида строительства.

2. Расчетным – в соответствии с главой III Методики №325/пр. Величина процента зависит от наименования строительных конструкций и видов работ и от климатического района.

В результате сравнительного анализа новой Методики №325/пр и существующих ранее методик ГСН 81-05-02-2007 и ГСНр 81-05-02-2001, мы видим, что новая Методика объединила две существующие, применяемые отдельно для расчета зимнего удорожания строительно-монтажных и ремонтных работ, с небольшой корректировкой, отражающей существующее положение в отрасли строительства.

Методы

Информационную базу научного исследования составили данные нормативной базы ценообразования в строительстве редакции 2020 года, а также проектно-сметная документация по строящимся объектам города Иркутска.

Методологическую основу исследования составляют методы экономико-статистического анализа, системный метод, систематизация теоретического и практического материала. Анализ и оптимизация дополнительных затрат при производстве работ в зимнее время в составе стоимости строительной продукции базируется на методологии определения стоимости строительной продукции на территории Российской Федерации, актуальной на период исследования.

Результаты исследования

В соответствии с Методикой №325/пр., в составе дополнительных затрат при производстве работ в зимнее время учитываются условия, связанные с воздействием отрицательной температуры (рис. 1) [7–9]. При проведении сравнительного анализа Методики №325/пр и существующих ранее методик ГСН 81-05-02-2007 и ГСНр 81-05-02-2001 обнаружена незначительная корректировка новой Методики, в которой более подробно описаны учтенные условия, связанные с зимним ведением строительно-монтажных (СМР) и ремонтных работ (таблица).

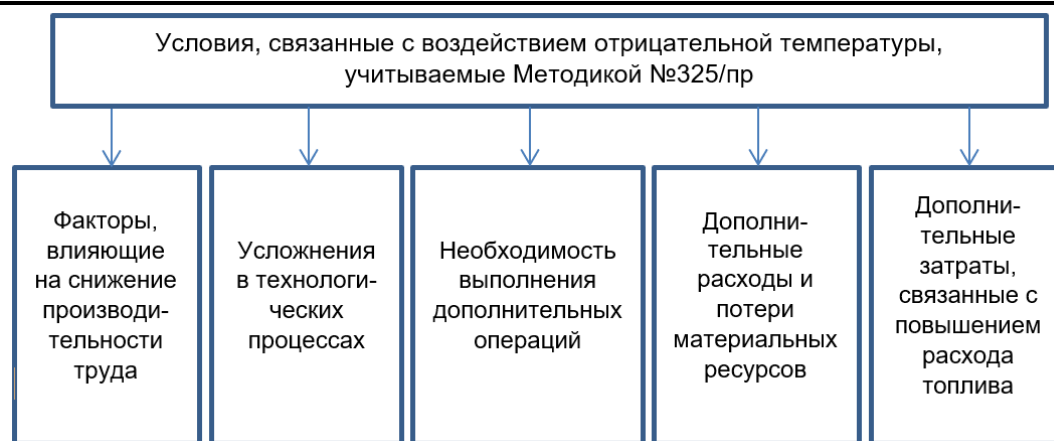


Рис. 1. Классификация условий, связанных с зимним удорожанием строительства
Fig. 1. Classification of conditions associated with a winter rise in construction costs

Анализ учета затрат на удорожание работ в зимнее время

Analysis of cost accounting for the increase in the cost of work in winter

Условия, связанные с воздействием отрицательной температуры	Методика №325/пр	ГСН 81-05-02-2007 и ГСНр 81-05-02-2001
1. Факторы, влияющие на снижение производительности труда: 1.1. Стесненность движения рабочих теплой одеждой и неудобством работы в рукавицах. 1.2. Ухудшение видимости в зимнее время на рабочем месте. 1.3. Наличие на рабочем месте льда и снега. 1.4. Обледенение обуви, материалов, конструкций и инструментов. 1.5. Необходимость в процессе работы периодической очистки от снега рабочего места, материалов и прочих поверхностей. 1.6. Потери рабочего времени, связанные со специальными перерывами в работе для обогрева и отдыха работников. 1.7. Снижение производительности строительных машин и механизмов в зимний период, связанное с затруднением пуска двигателей строительных машин и механизмов, повышением сопротивлений поверхностей, на которые воздействует рабочий орган машин, и другое		учтено
2. Усложнения в технологических процессах, вызываемые отрицательной температурой наружного воздуха: 2.1. Утепление временных сетей водоснабжения и баков. 2.2. Применение средств утепления бетонных смесей и растворов		учтено
3. Необходимость выполнения дополнительных технологических операций: 3.1. Рыхление слоя сезонного промерзания грунта. 3.2. Предохранение грунтов от промерзания рыхлением поверхностного слоя грунта, снегозадержанием, утеплением теплоизоляционными материалами (древесными остатками, соломой и иными аналогичными материалами), покрытием быстротвердеющими составами, введением в грунт химических реагентов. 3.3. Оттаивание мерзлых грунтов. 3.4. Введение в бетоны и растворы противоморозных добавок. 3.5. Применение электропрогрева бетона (от постоянных систем электроснабжения). 3.6. Прогрев изделий, концов труб и кабеля. 3.7. Устройство, разборка и отопление (от постоянных систем электроснабжения) обычных тепляков. 3.8. Поддержание необходимого для работы строительных машин и механизмов теплового режима. 3.9. Ограждение рабочих мест от снежных заносов и другие подобные сооружения		учтено

Окончание таблицы

4. Дополнительные расходы и потери материальных ресурсов при выполнении работ в зимнее время	учтено	
5. Дополнительные затраты, связанные с повышенным расходом топлива при работе машин	учтено	
6. Удорожание при работе в отапливаемых помещениях	Учтены отделочные работы, не учтены внутренние сантехнические работы	Учтены отделочные работы, не учтены внутренние сантехнические работы при выполнении СМР, внутренние сантехнические и отделочные работы при ремонте
7. Затраты на очистку от снега находящихся в ведении строительства подъездных автомобильных дорог к строительным площадкам от автомобильных дорог общего пользования	Не учтены, считаются дополнительно	
8. Затраты на первоначальную очистку от снега площади застройки объектов капитального строительства	Не учтены, считаются дополнительно	
9. Затраты на погрузку и транспортировку снега от очистки площадей к месту складирования или снеготопильным станциям, а также затраты на утилизацию снега	Не учтены, считаются дополнительно	
10. Затраты на снегоборьбу (работы по ликвидации снежных заносов, вызванных стихийными явлениями (метель, буран, пурга)) в районах Крайнего Севера и местностях, приравненных к ним, в сельских местностях, расположенных в пределах IV, V и VI температурных зон	Не учтены, считаются дополнительно	
11. Затраты на временное отопление зданий, законченных вчерне, в пределах отопительного периода	Не учтены, считаются дополнительно	

При анализе мы видим, что дополнительные затраты при работе в отапливаемых помещениях не учтены для внутренних сантехнических работ и для отделочных работ, выполняемых при ремонте (п. 6 таблицы). Однако в нормативной базе ценообразования редакции 2020 года в составе технических ресурсов для данных работ присутствует бортовой автомобиль, необходимый для транспортирования материальных ресурсов. Следовательно, должны быть учтены затраты на снижение производительности строительных машин и механизмов в зимний период (п. 1.7), поддержание необходимого для работы строительных машин и механизмов теплового режима (п. 3.8), а также дополнительный расход горюче-смазочных материалов (п. 5).

Обсуждение результатов

На основании фактической сметной документации на строительство жилых объектов в г. Иркутске нами произведен анализ затрат на удорожание работ в зимнее время в соответствии с Методикой №325/пр.

При определении затрат на зимнее удорожание нормативным методом необходимо учитывать деление территории Российской Федерации на климатические зоны, представленное в Приложении 4 Методики №325/пр. Вся территория РФ делится на 8

климатических зон, для каждой зоны показан расчетный зимний период (начало и конец). В данной таблице в скорректированном виде содержатся сведения из таблиц, представленных в методиках ГСНр 81-05-02-2001, ГСН 81-05-02-2007 «Сборник сметных норм дополнительных затрат при производстве строительно-монтажных работ в зимнее время». В нее добавлена территория Республики Крым, а также в таблице изменена последовательность наименований территориальных единиц. Однако в ней мы видим неизменный расчетный зимний период, который был установлен двадцать один год назад, что вызывает сомнения на фоне глобального изменения климата и его влияния на проектирование и строительство зданий и сооружений [10–12].

Методикой №325/пр (так же, как и ГСН 81-05-02-2007) в составе зимних удорожаний не учтены затраты на временное отопление зданий, законченных вчерне, в пределах отопительного периода. Данные затраты предложено считать дополнительно (п. 11 в таблице).

Старая методика ГСН 81-05-02-2007 использовала таблицу 7, в которой затраты на эксплуатацию систем отопления рассчитывались в рублях по каждой температурной зоне.

Новая Методика №325/пр дает затраты на эксплуатацию систем временного отопления в человеко-часах и предлагает использовать стоимость человеко-часа по данным ФГИС

ЦС для соответствующей зоны. Нами произведено сравнение затрат на эксплуатацию систем отопления, где видно увеличение стоимости затрат в новой методике (рис. 2).



Рис. 2. Стоимость затрат на эксплуатацию систем временного отопления на 1000 м³ здания в месяц в уровне цен 2 квартала 2022 г., руб.

Fig. 2. The cost of operating costs for temporary heating systems per 1000 m³ of the building per month at the price level of the 2nd quarter of 2022, rub.

Незначительно изменились и затраты на тепловую энергию, количество которой в старой методике измерялось в ГДж и кВтч, а в новой методике в Гкал и кВтч. Откорректированы также виды зданий по их объемам.

Однако, по мнению многих авторов [13, 14], в связи с изменением климата, изменился не только отопительный сезон – в среднем на 4 дня, но и затраты на само отопление из-за отклонения от нормы температурного режима. Например, в Иркутской области оно достигает 6,9 %, а на Камчатке – 4,5–8,5 % по отношению к нормативным 1961–1990 гг.

Заключение

В целях оптимизации затрат в составе стоимости строительства [15] нами произведен анализ методики расчета дополнительных затрат на удорожание строительно-монтажных работ в зимний период, в связи с выпуском новой Методики №325/пр.

В результате анализа мы видим незначительные изменения новой методики по отношению к существующей ГСН 81-05-02-2007. В новой Методике №325/пр уточнены условия, связанные с воздействием отрицательной температуры при выполнении строительно-монтажных работ, дана их расширенная классификация. В методике изменены расчеты стоимости затрат на эксплуатацию

систем временного отопления, что привело к увеличению стоимости для жилых и общественных зданий на 37 %, для производственных зданий – на 11,9 %.

Однако в новой Методике №325/пр практически не изменено деление территории Российской Федерации на климатические зоны и остался прежним расчетный зимний период, который был установлен двадцать один год назад, что вызывает сомнения на фоне глобального изменения климата и его влияния на проектирование и строительство зданий и сооружений.

Практически не изменились и сметные нормы дополнительных затрат, выраженные в процентах от сметной стоимости строительно-монтажных работ, что также вызывает вопросы. Глобальное изменение климата, особенно в зонах вечной мерзлоты, является значимым фактором увеличения стоимости устройства основания под зданием на весь период строительства и эксплуатации объектов, что, в свою очередь, усложняет технологические процессы, вызываемые отрицательной температурой наружного воздуха, и приводит к необходимости выполнения дополнительных технологических операций (пп. 2, 3 в таблице). С другой стороны, при рекордном отклонении средней температуры от нормы температурного

режима в России в 2020 году на 3,2 градуса возможно и некоторое снижение затрат на

зимнее удорожание в регионах, где отсутствуют проблемы с вечной мерзлотой.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Петров В. Т. Оптимизация системы ценообразования в переходном периоде в строительном секторе // Сметно-договорная работа в строительстве. 2020. № 6. С. 3–14.
2. Горелова О. А. Процесс обновления сметно-нормативной базы в строительстве // Вестник университета. 2019. № 8. С. 76–82. <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2019-8-76-82>.
3. Варфоломеев Ю. А. О совершенствовании нормативно-правовых актов Российской Федерации, учитывающих зимнее удорожание при строительстве в Заполярье // Новые информационные технологии в науке: сб. статей Междунар. науч.-практ. конф. (Уфа, 01 ноября 2015 года). Уфа, 2015. С. 203–206.
4. Григорьева А. Л., Григорьев Я. Н. Оптимизация выполнения строительно-монтажных работ при неблагоприятных климатических условиях // Технические науки: проблемы и перспективы: мат-лы Междунар. науч. конференции (Санкт-Петербург, 20–23 марта 2011 года). Санкт-Петербург, 2011. С. 34–37.
5. Алексеева К. И. Лимитированные затраты в составе сметной стоимости строительства // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. 2019. № 1-3. С. 268–272.
6. Быстров В. В. Зимнее бетонирование в гражданском строительстве // Оригинальные исследования. 2018. Т. 8. № 2. С. 55–65.
7. Подлесных Т. Л. Анализ затрат и факторов влияния на стоимость строительства при реализации проектов монолитного домостроения при производстве в зимний период // Экономика. Менеджмент. Финансы: сб. статей Междунар. науч.-практ. конф. (Пермь, 15 июня 2019 года). Уфа, 2019. С. 103–107.
8. Кулаковская В. В., Жавнер Т. В., Михайлова М. А. Проблемы строительства в зимний период времени // Молодежь и XXI век: мат-лы VIII Междунар. молодежной науч. конф. (Курск, 21–22 февраля 2018 года). Курск, 2018. С. 302–304.
9. Афанасьев А. С. Строительство в зимних условиях // СЕВЕРГЕОЭКОТЕХ-2013: мат-лы XIV Междунар. молодежной науч. конф. (Ухта, 20–22 марта 2013 года). Ухта, 2013. С. 62–65.
10. Волкова Н. Г. Об учете последних климатических перемен в строительстве // Асадемия. Архитектура и строительство. 2017. № 1. С. 120–123.
11. Демидов А. Н., Личак Н. А. Влияние глобального изменения климата на проектирование и строительство зданий и сооружений // Семьдесят вторая Всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием: сб. мат-лов конф. (Ярославль, 24 апреля 2019 года). Ярославль, 2019. С. 791–794.
12. Ильичев В. А., Никифорова Н. С., Коннов А. В. Прогноз изменения температурного состояния основания здания в условиях потепления климата // Жилищное строительство. 2021. № 6. С. 18–24. <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-6-18-24>.
13. Петухова О. Э., Поморов С. Б. Влияние глобального потепления на пространственную структуру прибрежных поселений северных территорий России // Вестник Алтайского государственного технического университета им. И. И. Ползунова. 2018. № 1. С. 262–266.
14. Журавлев П. А., Марукян А. М. Организационно-технологические особенности дополнительного ресурсообеспечения объектов при производстве работ в зимнее время // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 11. С. 42–49. <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2019.11.42-49>.
15. Лисецкий И. А., Ямщикова И. В. Оптимизация стоимости инновационной строительной продукции // Актуальные проблемы развития строительной отрасли: мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. (Иркутск, 29 июня 2017 года). Иркутск, 2017. С. 108–116.

REFERENCES

1. Petrov VT. Optimization of the Pricing System in the Transition Period in the Construction Sector. *Smetno-dogovornaya rabota v stroitel'stve*. 2020;6:3-14. (In Russ.).

2. Gorelova OA. Process of updating of the regulatory base in construction. *Vestnik Universiteta*. 2019;8:76-82. (In Russ.).
3. Varfolomeev YuA. On improving the regulatory legal acts in the Russian federation, considering the winter appreciation in construction in the polar region. *Novye informatsionnye tekhnologii v nauke: sb. statei Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* (Ufa, 01 November 2015). Ufa, 2015. p. 203-206. (In Russ.).
4. Grigorieva AL, Grigoriev YaN. Optimization of Construction and Installation Work Under Unfavorable Climatic Conditions. *Tekhnicheskie nauki: problemy i perspektivy: mat-ly Mezhdunar. nauch. konferentsii* (Saint Petersburg, 20-23th March 2011). Saint Petersburg, 2011. p. 34-37. (In Russ.).
5. Alekseeva KI. Limited costs in the composition of the estimated cost of construction. *Dal'nii Vostok: problemy razvitiya arkhitekturno-stroitel'nogo kompleksa*. 2019; 1-3:268-272. (In Russ.).
6. Bystrov VV. Winter concreting in civil engineering. *Original'nye issledovaniya*. 2018;8(2): 55-65. (In Russ.).
7. Podlesnykh TL. Analysis of Costs and Factors of Impact on the Construction Cost in Implementing Projects of Monolithic Housing Construction in Winter. *Ekonomika. Menedzhment. Finansy: sb. statei Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* (Perm, 15th June 2019). Ufa, 2019. p. 103-107. (In Russ.).
8. Kulakovskaya VV, Zhavner TV, Mikhailova MA. Construction Problems in Winter. *Molodezh' i XXI vek: mat-ly VIII Mezhdunar. molodezhnoi nauch. konf.* (Kursk, 21-22nd February 2018). Kursk, 2018. p. 302-304. (In Russ.).
9. Afanasiev AS. Construction Under Winter Conditions. *SEVERGEOEKOTEKh-2013: mat-ly KhIV Mezhdunar. molodezhnoi nauch. konf.* (Ukhta, 20-22nd March 2013). Ukhta, 2013. p. 62-65. (In Russ.).
10. Volkova NG. On the necessity of considering the climate changes in the construction industry. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo = Academia. Architecture and Construction*. 2017;1:120-123. (In Russ.).
11. Demidov AN, Lichak NA. The impact of global climate change on the design and construction of buildings and structures. *Sem'desyat vtoraya Vserossiiskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya studentov, magistrantov i aspirantov vysshikh uchebnykh zavedenii s mezhdunarodnym uchastiem: sb. mat-lov konf.* (Yaroslavl, 24th April 2019). Yaroslavl, 2019. p. 791-794. (In Russ.).
12. Ilyichev VA, Nikiforova NS, Konnov AV. Forecast of changes in the temperature state of the building base in climate warming. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2021;6:18-24. (In Russ.).
13. Petukhova OE, Pomorov SB. The Impact of Global Warming on the Spatial Structure of Coastal Settlements in the Northern Territories of Russia. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. I. I. Polzunova*. 2018;1:262-266. (In Russ.).
14. Zhuravlev PA, Marukyan AM. Organizational and technological features of additional resource provision of facilities when producing works in the winter. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo = Industrial and Civil Engineering*. 2019;11:42-49. (In Russ.). <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2019.11.42-49>.
15. Yamshchikova IV, Lisetsky I. Cost optimization of innovative building products. *Aktual'nye problemy razvitiya stroitel'noi otrasli: mat-ly Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* (Irkutsk, 29th June 2017). Irkutsk, 2017. p. 108-116. (In Russ.).

Информация об авторах

И. В. Ямщикова,
кандидат экономических наук, доцент,
доцент кафедры экспертизы и управления
недвижимостью,
Иркутский национальный
исследовательский технический
университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
e-mail: yamsirina@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6183-3255>

Information about the authors

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

Т. Г. Дорошенко,

кандидат экономических наук, доцент,
доцент кафедры экономики и управления
инвестициями и недвижимостью,
Байкальский государственный университет,
664003, г. Иркутск, ул. Ленина, 11, Россия,
e-mail: t_doro@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1099-0912>

Tatyana G. Doroshenko,

Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department of
Economy, Investment and Property
Management,
Baikal State University,
11 Lenin St., Irkutsk, 664003, Russia,
e-mail: t_doro@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1099-0912>

Н. В. Головина,

ведущий инженер,
ООО «Метра Групп»,
664047, г. Иркутск, ул. Карла Либкнехта, 121,
Россия,
e-mail: golovina_natalia_3@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2905-9113>

Natal'ya V. Golovina,

Lead Engineer,
Metra Grupp LLC,
121 Karla Libknekhta St., Irkutsk, 664047,
Russia,
e-mail: golovina_natalia_3@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2905-9113>

Вклад авторов

Дорошенко Т. Г., Головина Н. В., Ямщикова И. В. имеют равные авторские права. Ямщикова И. В. несет ответственность за плагиат.

Contribution of the authors

Doroshenko T. G., Golovina N. V., Yamshchikova I. V. have equal author's rights. Yamshchikova I. V. bears the responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Статья поступила в редакцию 06.07.2022.
Одобрена после рецензирования 29.07.2022.
Принята к публикации 01.08.2022.

Conflict of interests

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

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

The article was submitted 06.07.2022.
Approved after reviewing 29.07.2022.
Accepted for publication 01.08.2022.

**Выявление участков, не позволяющих обеспечить надежное функционирование системы подачи и распределения воды**

© Алексей Сергеевич Душин

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

Аннотация. Цель работы – с использованием ранее составленных математических моделей отборов воды (метод сечений), распределения потоков разработать методику выявления участков, не позволяющих системам подачи и распределения воды (СПРВ) качественно выполнять функции снабжения водой потребителей. Для эффективного управления системами важно не только учитывать закономерности отборов воды из СПРВ, вероятностные изменения структуры, но и оценивать влияние на качество работы системы ее отдельных компонентов (участков), их весовой вклад. Для анализа использованы вероятностные узловые показатели надежности водоснабжения потребителей K_j , P_j . Указанные показатели разложены на составляющие компоненты: вероятности нахождения СПРВ в безаварийном, аварийных структурных состояниях (ординарный поток отказов) и вероятности обеспечения потребителей в этих состояниях. С использованием частных показателей K_j^i , P_j^i предложено проводить оценку надежности снабжения потребителей в каждом состоянии. Сравнение частных показателей с нормируемыми значениями позволяет делать выводы о качестве работы каждого участка. С помощью полученных при структурных состояниях частных показателей можно оценивать значимость участков для обеспечения необходимого качества снабжения потребителей, перегруженность участков, оценивать их работу как резервных линий. На примере конкретной системы представлены все шаги предлагаемой методики. Для анализа работы СПРВ обоснована необходимость использования ранее разработанной программы для ЭВМ. Программа позволяет определять для каждого структурного состояния системы частные показатели надежности K_j^i , P_j^i . Предлагаемая методика по выявлению участков, имеющих пропускную способность, не позволяющую СПРВ качественно выполнять функции водоснабжения потребителей, может найти широкое применение при исследовании проектируемых и эксплуатируемых СПРВ.

Ключевые слова: водоснабжение, система подачи и распределения воды, нефиксированный отбор воды, вероятностный характер водопотребления, надежность обеспечения водой потребителей

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

Original article**Identification of sections inhibiting the reliable operation of water supply and distribution systems****Aleksei S. Dushin**

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

Abstract. A methodology for identifying sections in water supply and distribution systems (WSDSs) that inhibit high-quality water supply is proposed. The study is based on the previously developed mathematical models of water withdrawal (cross-sectional method) and flow distribution. Effective WSDS management requires not only consideration of water withdrawal patterns from WSDSs and probabilistic structural variations, but also assessment of the impact of individual components (sections) and their weight contribution on the system performance. During the analysis, K_j and P_j probabilistic reliability indicators of water supply to consumers were used. These indicators include the following components: probabilities of WSDS fault-free and emergency structural states (ordinary failure stream) and probabilities of

supplying water to consumers in these states. The reliability of consumer supply in each state is assessed using partial indicators K_j^i and P_j^i . Conclusions about the operational quality of each section can be made by comparing partial indicators with normalized values. Using partial indicators obtained in structural states, it is possible to assess the overburden of sections and their importance for ensuring the necessary quality of consumer supply, as well as to evaluate their backup line operation. An example of a particular system is used to demonstrate all steps of the proposed methodology. The need to use the previously developed software application for analysing the WSDS operation is justified. The software allows partial reliability indicators K_j^i and P_j^i to be determined for each structural state of the system. The proposed methodology for identifying WSDS sections with a capacity inhibiting reliable water supply can be used when designing new or surveying existing WSDSs.

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

For citation: Dushin A. S. Identification of sections inhibiting the reliable operation of water supply and distribution systems. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(3):326-337. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-3-326-337>.

Введение

Система подачи и распределения воды (далее – СПРВ), как наиболее дорогостоящий, предназначенный для долгой эксплуатации элемент в системе водоснабжения, всегда является объектом пристального внимания соответствующих служб. Существующие методы расчета СПРВ, базирующиеся на детерминированном подходе, не отвечают адекватностью реальным процессам, происходящим в системах, в результате происходит потеря эффективности в работе, нерациональное расходование материальных средств. Работа систем во времени динамична, сопряжена с изменяющимися условиями водопотребления, износом ее элементов (участков)¹ [1–17]. Системы должны быть гибкими в управлении, легко адаптироваться под изменяющиеся условия. Возникает необходимость в поиске приоритетных направлений для улучшения системы, определении элементов сети, ремонт и строительство которых при их финансировании могли бы оказать наибольший экономический эффект. Требуется разработка методики, отражающей учет влияния каждого из элементов (участков) на качество функционирования всей системы. В силу большого количества требуемых вычислений для любых схем должен быть использован специально созданный математический аппарат. Адаптация разрабатываемой методики под программы для ЭВМ неизбежна.

Цель исследования – с использованием ранее составленных математических моделей отборов воды (метод сечений), распределения потоков разработать методику выявления участков, не позволяющих СПРВ качественно выполнять функции снабжения водой потребителей.

Методы

Для более эффективного управления системой подачи воды, более качественного обеспечения потребителей необходимо выявлять в этой системе элементы, в данном случае участки, находящиеся в перегруженном состоянии, выявлять участки, имеющие низкую пропускную способность, слабые возможности к выполнению функций резервных линий или не способные к выполнению этих функций вообще.

Модель вероятностных отборов воды потребителями. В основе метода лежат ранее разработанная модель вероятностных отборов воды и распределений потоков с использованием α -сечений, методика оценки надежности обеспечения потребителей, вероятностные узловые показатели надежности. Ранее разработанные материалы подробно изложены в статьях [12–14]. В общих чертах можно представить каждый узел отбором воды большой группы потребителей.

На рис. 1 изображена плотность распределения вероятности узлового отбора воды по часу.

¹Венцель Е. С. Теория вероятностей: учеб. для вузов. 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: учеб. для вузов. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2004. 573 с.;

Соболь И. М. Численные методы Монте-Карло. М.: Наука, 1973. 311 с.

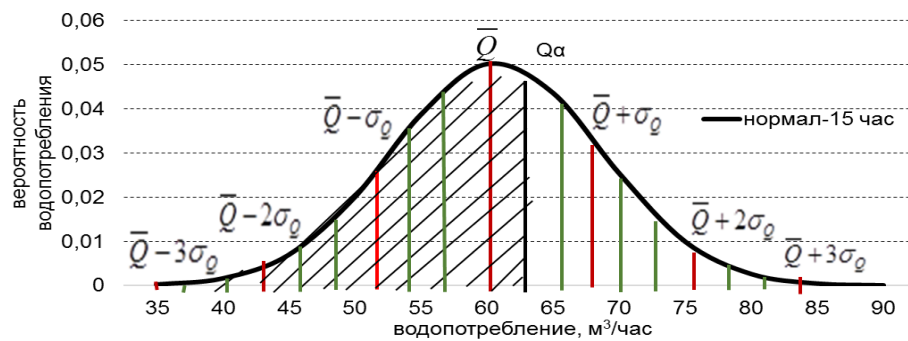


Рис. 1. Плотность распределения вероятности узлового отбора воды часа t
Fig. 1. Probability density distribution of nodal water withdrawal of hour t

В соответствии с правилом трех сигм распределение узловых отборов по каждому часу t рассматривается в пределах 3-х среднеквадратических отклонений, в пределах $[\bar{Q}_{j,t} - 3 \cdot \sigma_{j,t}, \dots, \bar{Q}_{j,t} + 3 \cdot \sigma_{j,t}]$, где $\bar{Q}_{j,t}$ – математическое ожидание отбора, $\sigma_{j,t}$ – среднеквадратическое отклонение отбора. Распределение вероятности водопотребления рассекается на несколько k равных интервалов $[\alpha_s - 1; \alpha_s]$ с размером каждого $\sigma_{j,t}/3$. Узловой отбор по α_s -сечению:

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

Часовые распределения потоков воды по участкам сети в соответствии с системами уравнений:

- 1) безаварийный режим (без изменения структуры сети);
- 2) аварийные режимы (отключение участков СПРВ при ординарном потоке отказов i $[1, \dots, n]$).

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

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

где λ – интенсивность отказов участка, $1/(\text{км} \cdot \text{год})$; l – длина участка, км; $\tau_{j,d}$ – продолжительность обеспечения потребителя j водой

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

где T – продолжительность исследуемого периода, год; $\rho_{j,t}^{обеспечения}$ – вероятность часового обеспечения j -го потребителя, при $\bar{q}_{j,k} \geq \varphi_k^{ав}$, $k \in F_j^k$, где $\bar{q}_{j,k}$ – относительный (к расчетному расходу) часовой расход воды у j -го потребителя при отказе j -го элемента

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

$$Q_j = \begin{cases} Q_j^*, & \text{если } P_j \geq P_j^*, \\ Q_j(P_j), & \text{если } Z_j < P_j^*, \\ 0, & \text{если } P_j \leq Z_j, \end{cases}$$

где j – номер узла; Q_j^* – требуемый узловой отбор; P_j^* – требуемый узловой свободный напор, м; Z_j – геодезическая отметка поверхности земли, м.

Качество работы СПРВ оценивается показателями расчетного и пониженного уровня обеспечения потребителей: K_j – коэффициент готовности к обеспечению расчетного водоснабжения j -го потребителя, P_j – вероятность безотказного водоснабжения j -го потребителя.

Методика формирования показателей K_j , P_j изложена в статьях [12–14]. Основные ее моменты представлены ниже.

ниже минимально допустимого значения; d – множество элементов СПРВ, выход которых в аварию нарушает пониженный уровень водоснабжения j -го потребителя.

кольцевой части сети; F_j^k – множество участков кольцевой части водопроводной сети, гидравлически связанных с j -м потребителем; $\varphi_k^{ав}$ – норма подачи воды потребителям в аварийных ситуациях. Вероятность обеспечения потребителей представлена

преобразованиями Лапласа (нормальный закон распределения):

$$p_{j,\alpha_s,t}^{\text{обеспечения}} = 0,5 \pm \Phi\left(-3 + \frac{\alpha_s}{3}\right),$$

где α_s – сечение. $p_{j,\alpha_s,t}^{\text{обеспечения}}$ определяется в пределах $[0, \dots, \alpha_s]$.

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

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

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

$$P_j = \exp\left(-\left[\prod_{i=1}^n (1 + \gamma_i)^{-1} \cdot \sum_{i=1}^n d \in D_j \lambda_i \cdot l_i \cdot \left(T \cdot \frac{1}{24} \cdot \sum_{t=1}^{24} (1 - \rho_{j,t})\right)\right]\right) =$$

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

$p_{j,\alpha_s,t}^{\text{обеспечения}}$ при $Q_{j,\alpha_s,t}^{\text{нефикс}} \geq 0,7 \cdot Q_{j,\alpha_s,t}^{\text{треб}}$

На основе сопоставления сформированных показателей надежности снабжения водой потребителей с нормируемыми значениями: $K_j \geq K_j$ (норм); $P_j \geq P_j$ (норм) – делается вывод о надежности СПРВ. Вероятность необеспечения j -го потребителя требуемым количеством воды: $(1 - K_j)$ (норм) – нормируемая; $(1 - K_j)$ – расчетная. Вероятность необеспечения j -го потребителя аварийным (минимально допустимым) количеством воды: $(1 - P_j)$ (норм) – нормируемая; $(1 - P_j)$ – расчетная.

Формируются выражения:

$$N_K = \frac{1 - K_j}{1 - K_j(\text{норм})}; \quad N_P = \frac{1 - P_j}{1 - P_j(\text{норм})}.$$

Они наглядно указывают, во сколько раз увеличен риск некачественного снабжения j -го потребителя по отношению к требуемому уровню.

При выполнении каких-либо мероприятий, направленных на повышение качества снабжения потребителей, их действие можно оценить выражениями:

$$N_{KM} = \frac{1 - K_j(\text{до})}{1 - K_j(\text{после})}; \quad N_{PM} = \frac{1 - P_j(\text{до})}{1 - P_j(\text{после})}.$$

Мероприятий по повышению надежности снабжения потребителей – большое количество: связанных со структурным изменением СПРВ, с увеличением напора на источнике или участках и т.д.

Выбор того или иного мероприятия, их комплексного использования должен согласовываться с дополнительным объемом финансовых вложений, эффектом от их выполнения.

Результаты и их обсуждение

Составление методики выявления участков, не позволяющих СПРВ качественно снабжать водой потребителей

Вероятность нахождения СПРВ в структурных состояниях (в безаварийном состоянии и при ординарном потоке отказов i $[1, \dots, n]$, где $n + 1$ – количество структурных состояний) представлена выражениями:

$$\left(\frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot l_i \cdot T}{\prod_{i=1}^n (1 + \gamma_i)} \right) \quad \left(\frac{1 + \sum_{i=1}^n \gamma_i}{\prod_{i=1}^n (1 + \gamma_i)} \right).$$

Выражения являются коэффициентами весомости каждого состояния. Для оценки влияния каждого элемента (участка) на качество функционирования всей системы необходимо общие показатели надежности разложить на составляющие компоненты – частные показатели K_j^i , P_j^i в каждом i -м структурном состоянии СПРВ.

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

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

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

 $p_{j,\alpha_s,t}^{\text{обеспечения}} \text{ при } Q_{j,\alpha_s,t}^{\text{нефикс}} \geq 0,7 \cdot Q_{j,\alpha_s,t}^{\text{треб}}$
 Формируются табл. 1, 2 частных показателей.

По результатам сравнения между собой показателей K_j^i , P_j^i при разных структурных состояниях СПРВ, их сопоставления с

нормируемыми значениями делаются соответствующие выводы. Дополнительным анализом может являться оценка перегруженности участков СПРВ. По сечениям производятся распределения потоков воды по участкам по часу максимального потребления, определяются диапазоны распределения расходов воды по ветвям X_i , диапазоны возможных скоростей V_i , $[V_{\min}, \dots, V_{\max}]$, удельных потерь напора $\Delta h_i / L_i$ $[\Delta h_{\min}, \dots, \Delta h_{\max}]$ по участкам. Результаты сводятся в табл. 3, 4.

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

Table 1. Determination of partial indicators K_j^i for each i -th state of the water supply and distribution system

Узел j / участок i	$K_j^{\text{норм}}$	Наименование участков		
		1	...	n
1	$K_1^{\text{норм}}$	K_1^1	K_1^i	K_1^n
...	$K_j^{\text{норм}}$	K_j^1	K_j^i	K_j^n
m	$K_m^{\text{норм}}$	K_m^1	K_m^i	K_m^n

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

Table 2. Determination of private indicators P_j^i for each i -th state of the water supply and distribution system

Узел j / участок i	$P_j^{\text{норм}}$	Наименование участков		
		1	...	n
1	$P_1^{\text{норм}}$	P_1^1	P_1^i	P_1^n
...	$P_j^{\text{норм}}$	P_j^1	P_j^i	P_j^n
m	$P_m^{\text{норм}}$	P_m^1	P_m^i	P_m^n

Таблица 3. Определение диапазона распределения скоростей движения воды V , м³/с, по участкам сети

Table 3. Determination of the range of distribution of water flow velocities V , м³/с, by network sections

Сечения	Отключение участков i		
	1	...	n
0	$V_1^{\min}$	$V_i^{\min}$	$V_n^{\min}$
...	$V_1^{\dots}$	$V_i^{\dots}$	$V_n^{\dots}$
18	$V_1^{\max}$	$V_i^{\max}$	$V_n^{\max}$

Таблица 4. Определение диапазона распределения удельных потерь напора $\Delta h_i / L_i$, м³/с, по участкам сети

Table 4. Determination of the range of distribution of specific pressure losses $\Delta h_i / L_i$, м³/с, by network sections

Параметры		Отключение участков i		
		1	...	n
Длина, м		L_1	L_i	L_n
Сечения	0	$\Delta h_1^{\min} / L_1$	$\Delta h_i^{\min} / L_i$	$\Delta h_n^{\min} / L_n$
	...	$\Delta h_1 / L_1$	$\Delta h_i / L_i$	$\Delta h_n / L_n$
	18	$\Delta h_1^{\max} / L_1$	$\Delta h_i^{\max} / L_i$	$\Delta h_n^{\max} / L_n$

Приведем пример. Рассмотрена СПРВ кольцевой структуры, состоящей из 6 узлов и 7 участков (рис. 2). Отборы воды каждым узлом представлены на рис. 3. Проведено моделирование аварийных отключений участков СПРВ (рис. 4).

Для определения вероятности нахождения СПРВ в безаварийном и аварийных состояниях принят ряд допущений: материал трубопровода – сталь, период эксплуатации –

нормальный (интенсивность отказов трубопровода, соответствующая периоду нормальной эксплуатации, $1/(км \cdot ч)$), $\lambda_i = 0,064 \cdot D_i^{-0,8}$, где D_i – диаметр участка i , м; время восстановления $T_{вс}$ участка i составляет 24 часа; $\mu_{вс} = 8760 / 24 = 365$ (1/год).

Результаты определения вероятности нахождения СПРВ в безаварийном состоянии и состоянии ординарного потока отказов представлены в табл. 5.

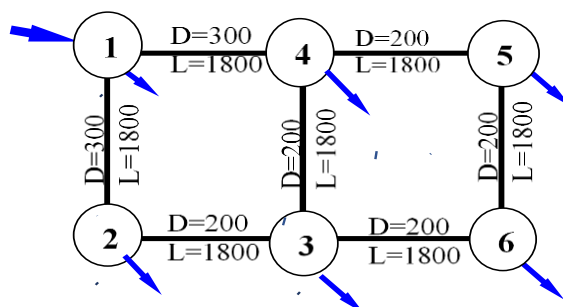


Рис. 2. Кольцевая схема системы подачи и распределения воды

Fig. 2. Ring diagram of the water supply and distribution system

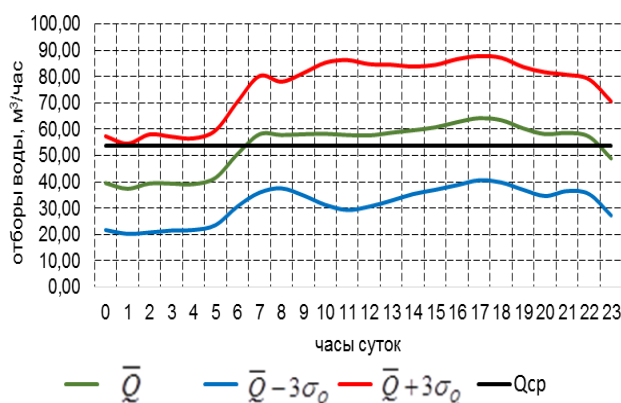


Рис. 3. Диапазоны суточного изменения отборов воды одним узлом

Fig. 3. Ranges of daily change in water withdrawals by one node

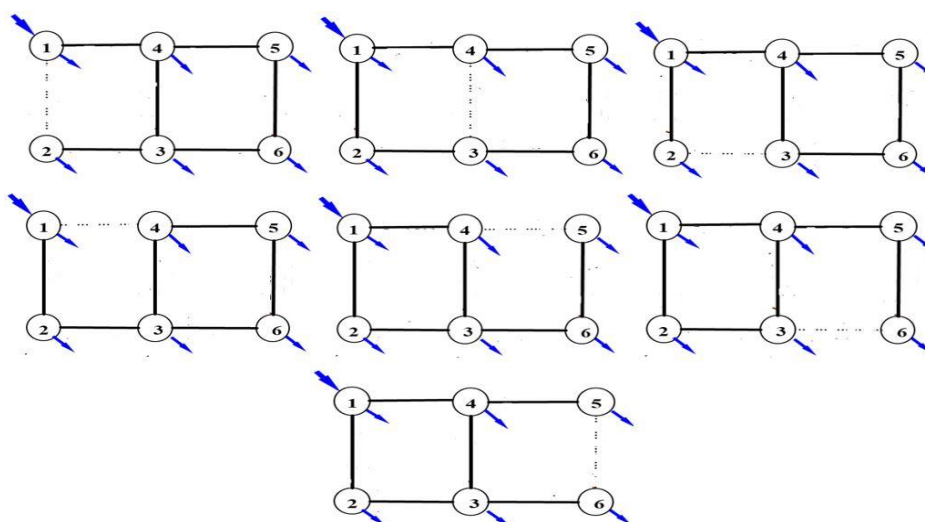


Рис. 4. Моделирование аварийных отключений участков системы подачи и распределения воды

Fig. 4. Modeling of emergency shutdowns of sections of the water supply and distribution system

Таблица 5. Определение вероятности нахождения системы подачи и распределения воды в безаварийном и аварийных состояниях

Table 5. Determination of the probability of finding a water supply and distribution system in accident-free and emergency states

Параметры		L , м	D , мм	λ	$\lambda \cdot L$	μ	γ	$1 + \gamma$	$\rho_{ae} = \gamma / \Pi (1 + \gamma)$
Отключаемые участки	1-2	1800	300	0,1677	0,3018	365	0,00083	1,00083	0,00082
	2-3	1800	200	0,2319	0,4175	365	0,00114	1,00114	0,00095
	4-3	1800	200	0,2319	0,4175	365	0,00114	1,00114	0,00095
	1-4	1800	300	0,1677	0,3018	365	0,00083	1,00083	0,00082
	4-5	1800	200	0,2319	0,4175	365	0,00114	1,00114	0,00095
	3-6	1800	200	0,2319	0,4175	365	0,00114	1,00114	0,00095
	5-6	1800	200	0,2319	0,4175	365	0,00114	1,00114	0,00095
$\Pi (1 + \gamma)$		–						1,00740	–
$\rho_0 = 1 / \Pi (1 + \gamma)$		–						0,99266	0,00732

Формирование обобщенных показателей надежности снабжения потребителей K_j и P_j

Результаты указаны графически на рис. 5 (красным цветом выделены показатели надежности до проведения мероприятий, зеленым цветом – после проведения мероприятий). Сформированные показатели при сопоставлении с нормируемыми значениями: $K_j \geq 0,99178$; $P_j \geq 0,99998$ – указывают на проблемы

водоснабжения узлов 3, 4, 5, 6. Согласно ранее разработанной и представленной в статье [14] методике при $K_j > K_j (\text{норм})$ и $P_j < P_j (\text{норм})$ должна быть предусмотрена перекладка участков с повышенным диаметром.

Оценка влияния каждого i -го участка на качество функционирования системы

Результаты определения частных показателей, рассчитываемых по предлагаемой методике, представлены в табл. 6, 7.

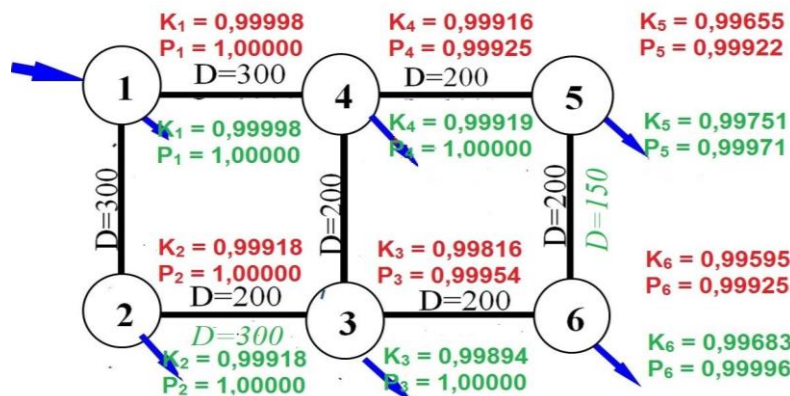


Рис. 5. Распределение узловых показателей надежности до и после проведения мероприятий

Fig. 5. Distribution of nodal reliability indicators before and after the events

Частные показатели надежности K_j^i и P_j^i указывают на особенно низкое качество снабжения удаленных потребителей при отключении участка 1-4. В данном случае вероятность обеспечения узлов-потребителей 3-6 расчетным (требуемым) количеством воды полностью отсутствует, значительно низкая вероятность безотказного снабжения этих потребителей. Данное обстоятельство объясняется отсутствием достаточной пропускной способности резервной линии 2-3. Участок не может пропустить в минимально допустимых (аварийных) пределах объема воды для обеспечения

указанных потребителей (рис. 6). Соответственно, требуется увеличение диаметра участка 2-3 с 200 мм до 300 мм. Показательным является час максимального водопотребления. По указанному часу на рис. 7 представлены диапазоны распределения скоростей движения воды по участкам при возможных структурных состояниях сети (отключении аварийных участков). Диапазоны распределения скоростей по участкам указывают, что все участки, кроме 5-6, имеют достаточную загруженность (установленный по схеме диаметр 200 мм на участке 5-6 завышен, достаточно 150 мм).

Таблица 6. Определение частных показателей K_j^i при каждом i -м состоянии системы подачи и распределения воды

Table 6. Determination of partial indicators K_j^i for each i -th state of the water supply and distribution system

Параметры		Отключение участков i							Безаварий- ный режим
		1-2	2-3	1-4	4-3	4-5	3-6	5-6	
ϕ , мм		300	200	300	200	200	200	200	–
$\rho_{отключ}$		0,00082	0,00095	0,00082	0,00095	0,00095	0,00095	0,00095	0,99266
Участок i / узел j	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	0,03370	1	1	1	1	1	1	1
	3	0,06253	0,80658	0,00000	0,99984	1	1	1	1
	4	1	1	0,00000	1	1	1	1	1
	5	0,17079	0,80658	0,00000	0,99984	0,00477	0,49796	1	1
	6	0,06146	0,69279	0,00000	0,99806	0,05910	0,10957	1	1

Таблица 7. Определение частных показателей P_j^i при каждом i -м состоянии системы подачи и распределения воды

Table 7. Determination of private indicators P_j^i for each i -th state of the water supply and distribution system

Параметры		Отключение участков i							Безаварий- ный режим
		1-2	2-3	1-4	4-3	4-5	3-6	5-6	
ϕ , мм		300	200	300	200	200	200	200	–
Участок i / узел j	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	1	1	1	1	1	1	1	1
	3	1	1	0,56934	1	1	1	1	1
	4	1	1	0,40146	1	1	1	1	1
	5	1	1	0,38998	1	0,99593	1	1	1
	6	1	1	0,40146	1	1	1	1	1

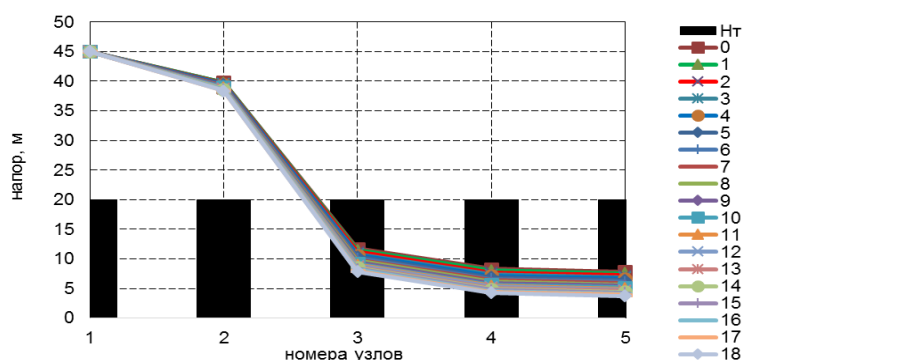


Рис. 6. Распределение располагаемого напора по узлам 1 – 2 – 3 – 4 – 5 в час максимального водопотребления при отключении участка 1-4

Fig. 6. Distribution of available pressure by nodes 1 – 2 – 3 – 4 – 5 per hour of maximum water consumption when section 1-4 is turned off

Диапазон распределения скоростей движения воды по участку 2-3 при отключении участка 1-4 в пределах 1,5 м/с указывает на его высокую перегруженность.

Результаты мероприятий по увеличению диаметра участка 2-3 с 200 мм до 300 мм и

снижению диаметра участка 5-6 с 200 мм до 150 мм представлены узловыми показателями надежности на рис. 5, 8, 9 (красным цветом выделены показатели надежности до проведения мероприятий, зеленым цветом – после проведения мероприятий).

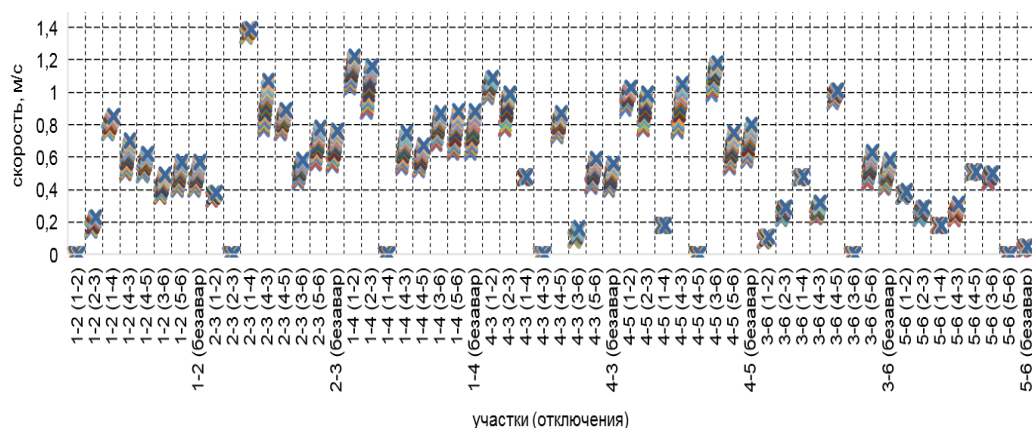


Рис. 7. Распределение диапазона скоростей движения воды по участкам системы подачи и распределения воды в час максимального потребления при возможных отключениях

Fig. 7. Distribution of the range of water flow rates by sections of the water supply and distribution system at the hour of maximum consumption with possible shutdowns

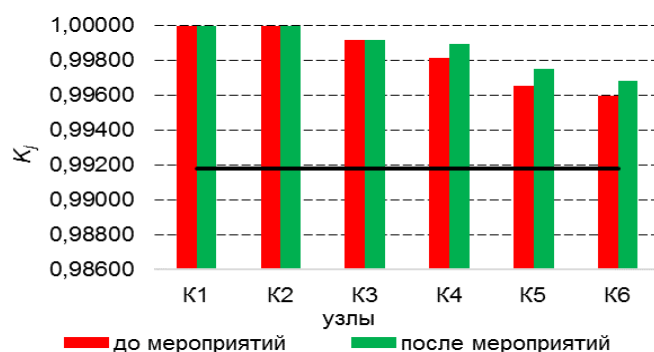


Рис. 8. Распределение обобщенных K_j по узлам до и после проведения мероприятий

Fig. 8. Distribution of generalized K_j over nodes before and after events

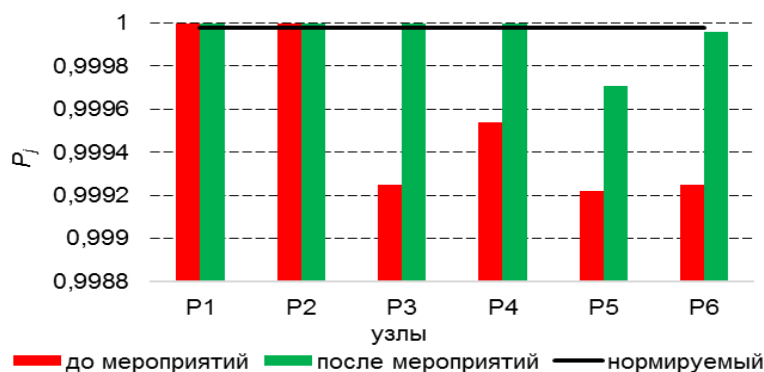


Рис. 9. Распределение обобщенных P_j по узлам до и после проведения мероприятий

Fig. 9. Distribution of generalized P_j over nodes before and after events

Показатель N_{PM} указывает, что проведение мероприятий в разы увеличивает безотказность водоснабжения узлов-потребителей 5, 6, практически полностью исключает риск некачественного снабжения узлов 3, 4 (табл. 8). Создание СПРВ, соответствующих современным требованиям надежности, как правило, сопровождается повышенным объемом финансовых вложений в строительство и эксплуатацию. СПРВ, созданная с учетом

использования предлагаемой методики, позволит высококачественно обеспечивать потребителей, в том числе удаленных, при незначительном увеличении дополнительных финансовых вложений, в данном случае менее 1 % (рис. 10):

$$(21885+354) \cdot 100 / (21690+354) = 0,9 \%$$

Разработанная методика позволяет повысить гибкость, управляемость СПРВ, готовность к выполнению своих основных функций

– функций качественного снабжения потребителей. Выполнение подобного рода задач даже для маленьких схем ручным способом практически невозможно. Сложность и разносторонность решений требует использования математического аппарата. Ранее на кафедре городского строительства и хозяйства

Иркутского национального исследовательского технического университета была разработана, внесена в Реестр программ для ЭВМ (Роспатент), проведена практическая апробация программы для ЭВМ «Программа по оценке надежности обеспечения потребителей водой»².

Таблица 8. Сопоставление результатов выполнения мероприятий

Table 8. Comparison of the results of the implementation of activities

Узлы	Превышение расчетного K_j над нормируемым N_K (до мероприятий), разы	Превышение расчетного K_j над нормируемым N_K (после мероприятий), разы	N_{KM} (эффект мероприятий), разы	Превышение расчетного P_j над нормируемым N_P (до мероприятий), разы	Превышение расчетного P_j над нормируемым N_P (после мероприятий), разы	N_{PM} (эффект мероприятий), разы
1	—	—	—	—	—	—
2	—	—	—	—	—	—
3	—	—	—	37,5	—	—
4	—	—	—	23	—	—
5	—	—	—	39	14,5	2,68
6	—	—	—	37,5	2	18,75

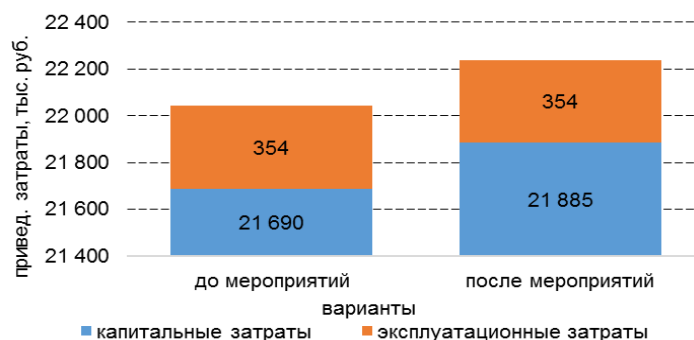


Рис. 10. Распределение приведенных затрат до и после проведения мероприятий
Fig. 10. Distribution of the reduced costs before and after the activities

Заключение

Предлагаемая методика анализа и программа для ЭВМ учитывают многообразие режимов работы СПРВ, позволяют разносторонне подойти к анализу функционирования всей системы и ее отдельных элементов, участков. Использование указанной

программы позволяет проводить подобные анализы систем без особых усилий.

Базируясь на результатах такого анализа, легче разрабатывать адекватные эффективные мероприятия по решению возможных проблем некачественного функционирования СПРВ.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

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

2. Чупин 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.

²Чупин В. Р., Душин А. С. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020615619 от 27 мая 2020 г.

3. 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.
4. Абрамов Н. Н. Надежность систем водоснабжения. М.: Стройиздат, 1979. 232 с.
5. Карамбиров С. Н. Математическое моделирование систем подачи и распределения воды в условиях многорежимности и неопределенности: монография. М.: МГУП, 2004. 197 с.
6. Карамбиров С. Н., Бекишева Л. Б. О некоторых статистических закономерностях водопотребления в системах водоснабжения // Природообустройство. 2012. № 4. С. 45–48.
7. Карамбиров С. Н., Буркова Ю. Г. Анализ и синтез сложных инженерных систем с применением современных математических методов: монография. М.: РГАУ-МСХА, 2015. 193 с.
8. Карамбиров С. Н., Мордясов М. А., Буркова Ю. Г. Применение кластерного анализа и нейронных сетей для анализа качества функционирования инженерных сетей в штатных и послеаварийных условиях // Природообустройство. 2014. № 3. С. 63–66.
9. Шопенский Л. А., Юрьева И. П. Построение расчетных графиков водопотребления // Водоснабжение и санитарная техника. 1985. № 11. С. 25–27.
10. Шопенский Л. А. Аналитическое описание режимов водопотребления и построения расчетных графиков: сб. научных трудов. Вып. I. М.: ОНТИ ЦНИИЭП инженерного оборудования, 1975.
11. Карамбиров С. Н. Математическое моделирование систем подачи и распределения воды в условиях многорежимности и неопределенности: монография. М.: МГУП, 2004. 196 с.

12. Чупин Р. В., Душин А. С. Оценка надежности обеспечения потребителей водой // Водоснабжение и санитарная техника. 2017. № 12. С. 35–44.
13. Чупин В. Р., Душин А. С. Оценка надежности обеспечения потребителей водой. Разработка показателей надежности водоснабжения потребителей // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2019. Т. 9. № 3 (30). С. 578–593. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-3-578-593>.
14. 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>.
15. Евдокимов А. Г., Дубровский В. В., Тевяшев А. Д. Потокораспределение в инженерных сетях. М.: Стройиздат, 1979. 200 с.
16. Чупин Р. В., Мелехов Е. С. Развитие теории и практики моделирования и оптимизации систем водоснабжения и водоотведения. Иркутск: ИрГТУ, 2011. 323 с.
17. 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.
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. 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.).
2. 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.
3. 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.).
4. Abramov NN. Reliability of water supply systems. Moscow: Stroizdat; 1979. 232 p. (In Russ.).
5. Karambиров SN. Mathematical modeling of water supply and distribution systems under conditions of multi-mode and uncertainty: monograph. Moscow: MSUPA; 2004. 197 p. (In Russ.).
6. Karambиров SN, Bekisheva LB. About some statistical regularities of water consumption in water supply systems. *Prirodoobustroistvo*. 2012;4: 45-48. (In Russ.).
7. Karambиров SN. Analysis and synthesis of complex engineering systems using modern mathematical methods: monograph. Moscow: RSAU-MTAA; 2015. 193 p. (In Russ.).

8. 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.).
9. 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.).
10. Shopenskii LA. Analytical description of water consumption modes and construction of calculated graphs: collection of scientific papers. Vol. 1. Moscow: ONTI TsNIIEP inzhenernogo oborudovaniya; 1975. (In Russ.).
11. Karambirov SN. Mathematical modeling of water supply and distribution systems under conditions of multi-mode and uncertainty: monograph. Moscow: MSUPA; 2004. 197 p. (In Russ.).
12. 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.).
13. Chupin VR, Dushin AS. Assessment of the reliability of water supply to consumers: water supply reliability indicators. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2019;9(3):578-593. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-3-578-593>.
14. 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>.
15. Evdokimov AG, Dubrovskii VV, Tevyashev AD. Flow distribution in engineering networks. Moscow: Stroiizdat; 1979. 200 p. (In Russ.).
16. 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.).
17. Chupin VR, Malevskaya MB. Development of recommendations to minimize the consequences of emergencies in water supply systems. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water supply and sanitary technique*. 1994;4:8-9. (In Russ.).
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,
Network company "IRKUT" LTD,
28A Aviastroiteley St., Irkutsk, 664020, Russia,
<https://orcid.org/0000-0001-7307-5167>

Вклад автора

Душин А. С. провел исследование, подготовил статью к публикации и несет ответственность за плагиат.

Contribution of the author

Dushin A. S. has conducted the study, prepared the article for publication and bears the responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

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

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

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

Статья поступила в редакцию 19.07.2022.
Одобрена после рецензирования 09.08.2022.
Принята к публикации 10.08.2022.

The article was submitted 19.07.2022.
Approved after reviewing 09.08.2022.
Accepted for publication 10.08.2022.

**Нанотехнологии в области производства бетона**

© Анатолий Васильевич Ластовка, Тамара Владимировна Данченко,
Инна Яковлевна Петухова, Илья Андреевич Поляков

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Ластовка Анатолий Васильевич, last_pro@mail.ru

Аннотация. Цель работы заключается в исследовании перспектив и возможностей использования нанотехнологий и наноматериалов в строительной сфере и, в частности, в области производства бетона. Методы исследования: совокупность способов и принципов научного познания, общих и специальных методов и приемов, а именно сравнительный анализ, моделирование, систематизация, группировка, обобщение, прогнозирование. Авторами предложен способ производства бетона с использованием материи с заданной атомной структурой. В процессе исследования установлено, что переход к работе с использованием атомов и микрочастиц приведет к повышению эффективности производимого бетона. Также отдельное внимание уделено структурной единице нанотехнологий – наночастице. Отмечено, что наночастицы могут изменить цвет искусственных покрытий, увеличить износостойкость материалов, улучшить их показатели сопротивления. При применении инновационных технологий используют усиленную сталь, композитную арматуру, нанопокртия. Кроме того, в работе представлена подробная информация о конструкционных композитах, имеющих кафельную, железную либо полимерную матрицу. Особый акцент сделан на преимуществах нанобетона. Он объединяет целую группу материалов, позволяющих, в соответствии с потребностями объекта, задать нужные характеристики изделиям и конструкциям. Расширение использования нанотехнологий в строительстве предполагает необходимость применения для дальнейших исследования и разработок междисциплинарного и многонаправленного подхода, включающего в себя такие области науки, как гражданское строительство, материаловедение, физика и другие смежные дисциплины.

Ключевые слова: бетон, железобетон, композит, молекулы, наночастица

Для цитирования: Ластовка А. В., Данченко Т. В., Петухова И. Я., Поляков И. А. Нанотехнологии в области производства бетона // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 3. С. 338–349. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-3-338-349>.

Original article**Nanotechnologies in concrete production**

Anatoly V. Lastovka, Tamara V. Danchenko, Inna Ya. Petukhova, Ilya A. Polyakov

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Corresponding author: Anatoly V. Lastovka, last_pro@mail.ru

Abstract. The aim was to investigate the prospects and possibilities of using nanotechnologies and nanomaterials in construction, particularly in concrete production. The research methodology involved a set of methods and principles of scientific cognition, as well as general and specific methods and techniques, such as comparative analysis, modelling, classification, grouping, generalization and forecasting. The authors propose a method of concrete production using a matter with a specified atomic structure. It was established that the consideration of atoms and microparticles can increase the efficiency of concrete production. In addition, special attention is paid to a nanoparticle as the structural unit of nanotechnology. Nanoparticles are capable of changing the colour of artificial coatings, increasing the wear resistance of materials and improving their resistance indicators. In innovative technologies, reinforced steel, composite reinforcement and nanocoatings are used. In addition, detailed information is provided on structural composites having a ceramic, iron or polymer matrix. A particular emphasis is placed on the advantages of nanoconcrete. Nanoconcrete represents a whole group of

materials that can impart the desired characteristics to products and structures. Expanding the use of nanotechnology in construction implies the need for an interdisciplinary and multidimensional approach for further research and development, including such fields as civil engineering, materials science, physics and other related disciplines.

Keywords: concrete, reinforced concrete, composite, molecules, nanoparticles

For citation: Lastovka A. V., Danchenko T. V., Petukhova I. Ya., Polyakov I. A. Nanotechnologies in concrete production. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2022;12(3):338-349. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-3-338-349>.

Введение

Современный мир – это мир развивающихся нанотехнологий, которые активно используются в самых разных отраслях науки и техники, включая изготовление бетонов с определенными характеристиками. Слово «нанотехнология» чаще используется в значении «всеобъемлющее», и под ней следует понимать комплекс методик изготовления материалов, имеющих определенную

атомарную структуру, посредством управления молекулами и атомами. Нанотехнологии дают возможность получения частиц вещества и на их основе – создания устройств размером 1–100 нм.

Изготовление бетона и железобетонных изделий, несмотря на использование самого современного бетонного оборудования, является сложным и продолжительным процессом (рис. 1).



Рис. 1. Современный формовочный цех по изготовлению железобетонных изделий (фото автора)
Fig. 1. Modern concrete molding shop (photo by the author)

Избыточная энерго- и металлоемкость этого процесса значительно сказывается на экономических показателях производства. Кроме того, свою роль играют автоматизация и механизация технологических линий. Это в большой степени воздействует на качество производимого продукта в связи с так называемым человеческим фактором. Бетон доминирует в строительной сфере по той причине, что в большинстве случаев наиболее приемлемые альтернативы ему отсутствуют.

Как известно, инновационные разработки в области изготовления бетона касаются создания его новых видов, усовершенствования арматуры, использования новых добавок. Помимо этого, ученые и практики активно

работают и над созданием более прогрессивных технологий и методов, которые дают возможность максимально восстановить или защитить бетон [1–4].

Рассмотрим особенности развития строительных комплексов в Красноярском крае.

Можно выделить следующие факторы, которые свидетельствуют о положительной динамике:

- ассортимент изготовления стройматериалов постоянно расширяется, так как предприятия используют свою минерально-сырьевую базу;
- невысокая стоимость энергоресурсов в крае;
- Сибирский федеральный университет

является научным центром подготовки квалифицированных кадров;

– высокая конкуренция на рынке и спрос со стороны потребителей.

В то же время необходимо отметить, что конкурентоспособность фирм в строительной отрасли зависит от развития технологий, от внедрения цифровых инноваций и прогрессивных технологических решений. Благодаря новым технологиям можно снизить затраты и реагировать на меняющиеся требования клиентов.

К числу таких передовых технологий относятся нанотехнологии, которые влияют на многие отрасли и вносят значительный вклад в развитие свойств материалов. Благодаря этому существует множество применений нанотехнологий в строительной отрасли. Исследования и разработки показали, что нанотехнологии могут улучшить характеристики традиционных строительных материалов, таких как бетон и сталь.

Помимо этого, следует отметить, что строительная отрасль является источником многих экологических проблем, связанных со строительством, эксплуатацией и обслуживанием зданий. Потенциальный вклад в устойчивое развитие заключается в том, чтобы сделать нанотехнологии одной из наиболее влиятельных технологий в «зеленых» зданиях. Хотя нанотехнологические материалы готовы к широкому использованию в строительной отрасли, они еще не оказали существенного влияния на этот сектор и особенности их применения требуют дополнительных, более углубленных исследований.

Методы

Методологической основой проводимого исследования является совокупность способов и принципов научного познания, общих и специальных методов и приемов. Для обоснования актуальности, формулировки целей и задач исследования использовались методы анализа и обобщения. Также свое применение нашли эмпирические методы исследования – инструментальный мониторинг, обобщение опыта, опрос специалистов, экспертные оценки, научное прогнозирование – для прогнозирования факторов влияния на параметры бетона используемых нанотехнологий, специальных наноматериалов. Разработка предложений и рекомендаций по оптимизации процессов изготовления сверхпрочного бетона с использованием нанотехнологий выполнена с использованием методов моделирования и синтеза.

Метод экспериментальных исследований применен для определения степени

обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций путем практического использования их строительными организациями бетона, изготовленного и укрепленного по новым технологиям.

Результаты и их обсуждение

Нанотехнологии в строительстве

Нанотехнологии – это перспективное высокотехнологичное изобретение для строительного сектора, которое позволяет повысить долговечность материалов и улучшить работу зданий и сооружений в целом. Нанотехнологии определяются как способ или метод использования материалов, размер которых обычно составляет 100 нанометров (нм) или менее. Нанотехнологии и наноматериалы открывают новые очень широкие возможности в строительной отрасли и архитектуре, например, благодаря разработке прочных, долговечных и в то же время чрезвычайно легких строительных материалов.

Так, новые изоляционные материалы с очень хорошими теплоизоляционными свойствами уже доступны на рынке, они позволяют проводить тепловую реабилитацию зданий, в которых обычная теплоизоляция невозможна, и могут способствовать повышению энергоэффективности. Доступен также широкий спектр методов обработки поверхностей, включая стекло, каменную кладку, дерево или металл. Благодаря им могут быть улучшены функциональные возможности, а также продлен срок службы материалов. Такие поверхностные покрытия также обещают экономию ресурсов, например воды, энергии и чистящих средств. Вопрос о том, к чему приведет использование нанотехнологий в строительной отрасли, следует рассматривать не только с точки зрения улучшения свойств и функций материалов, но и в контексте энергосбережения.

Это особенно важная перспектива, поскольку высокий процент всей используемой энергии (например, 41 % в Соединенных Штатах) потребляется коммерческими зданиями и жилыми домами в таких приложениях, как отопление, освещение и кондиционирование воздуха. Комбинируя наночастицы и традиционные строительные материалы, можно добиться исключительных свойств материалов для строительства систем с большими пролетами и сверхвысоких высот. Наночастицы определяются как ультратонкие частицы размером от 1 до 100 нанометров в диаметре. В их состав входит от нескольких десятков до нескольких тысяч атомов (рис. 2).

В последние десятилетия были проведены широкие научные исследования различных

применений наночастиц в строительной отрасли и в индустрии изготовления строительных материалов. Преимущества использования наночастиц в строительстве огромны, они дают возможность достигнуть исключительных физических и химических свойств модифицированных строительных материалов. Среди многих различных типов наночастиц диоксид титана, углеродные нанотрубки,

диоксид кремния, медь, глина и оксид алюминия являются наиболее широко используемыми наночастицами в строительном секторе. Перспективы наночастиц, наблюдаемые в строительстве, находят свое отражение и в других адаптирующих отраслях, стимулируя рост спроса и объемов производства с очень большой скоростью.

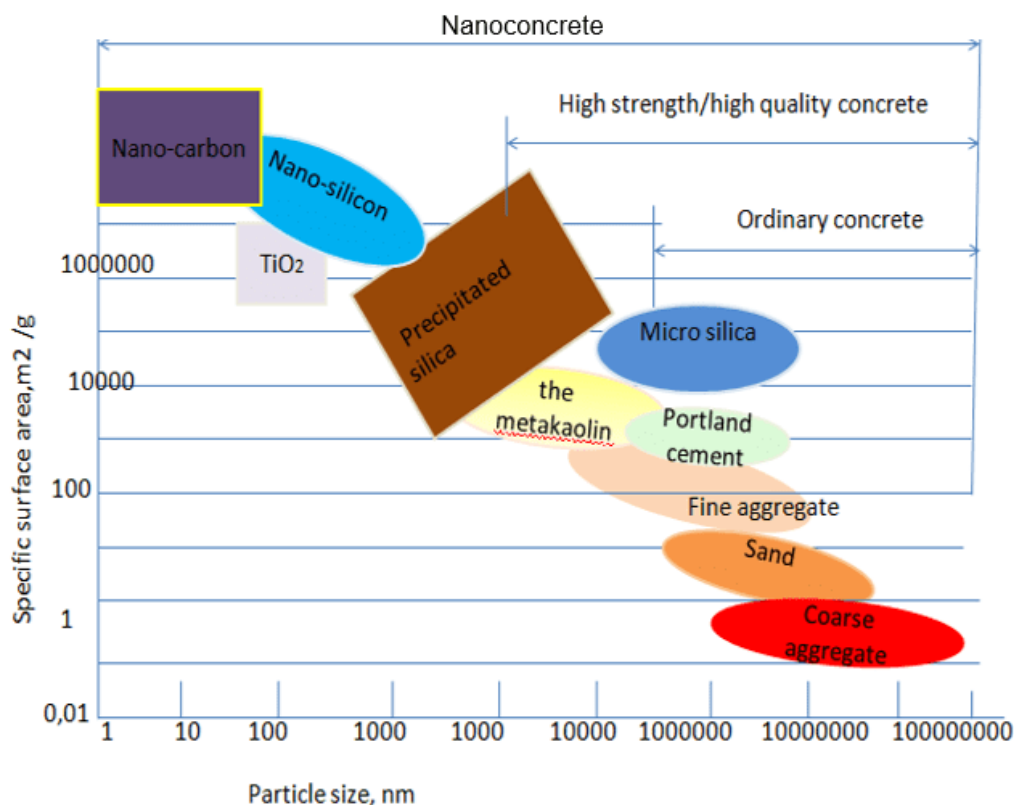


Рис. 2. Размер частиц и удельная поверхность компонентов бетона
Fig. 2. Particle size and specific surface area of concrete components

Рассмотрим, к каким результатам приводит использование наночастиц в строительной отрасли. Открытием стало то, что благодаря их применению меняется цвет искусственных покрытий, появилась возможность создавать специальные антибактериальные покрытия и материалы, способные самоочищаться. Ряд положительных эффектов приводит к тому, что ультрафиолетовая защита увеличивает износостойкость материалов. Кроме того, они способствуют предупреждению появления желтизны, что весьма важно для дверей и окон, сделанных из металлопластика. За счет своих способностей к устойчивости наночастицы способствуют увеличению показателей сопротивления материалов на плоскости пластиковых труб.

В связи с этим можно предположить, что наноматериалы, обладающие уникальными

магнитными, тепловыми и оптическими характеристиками, позволят осуществить прорыв в производстве стройматериалов. Результаты многолетних трудов ученых по инновационным технологиям производители используют для улучшения изготавливаемой продукции. Усиленная сталь, бетон, композитная арматура, различные нанопокртия – перечисленные материалы заново исследуются как материалы с новыми не изученными характеристиками и свойствами.

Особого внимания заслуживают конструкционные композиты, которые обладают большим спектром вариантов применения. Это добавки для разнообразных конструкций, имеющих кафельную, железную либо полимерную матрицу.

Композиты, в состав которых входят углеволокно и полимерная матрица, – это

углепластики. Материалы, состоящие из многих компонентов и пластичной основы – матрицы, по изученным характеристикам обладают повышенной прочностью и жесткостью. Конструкционные композиты классифицируются по многим видам, но далеко не все они базируются на керамической, металлической или полимерной матрице. В качестве примера можно привести углепластик, который получен из углеродных волокон и полимерной матрицы, он применяется в авиастроении, изготовлении космической техники, медицинского оборудования, протезов, а также различного спортивного инвентаря.

В отношении существующих сплавов металлов с высоким показателем вязкости, которые используют в строительстве гидротехнических, дорожных объектов, провели исследования с использованием нанопокровов. В результате исследуемая прочная сталь изменила свои характеристики, заметно увеличилась стойкость металла к коррозии, появились водо- и грязеотталкивающие, теплоизоляционные свойства.

Изучение и открытия важных качеств нанопокровов продолжаются, к ним относится энергосбережение. Нанопокровы обладают таким уникальным свойством, как накопление солнечной энергии, поэтому в будущем они могут стать полноценными батареями. С использованием прозрачных наногелей изготавливают звуко- и теплоизоляционные материалы.

Кроме того, применение нанокompозитов становится все более важным при производстве и в процессе структурного ремонта поврежденных трубопроводов. Так, обмотки из нанокompозитов используются для ремонта проржавевших стальных трубопроводов, в результате чего он может быть завершен в относительно короткий срок, а передача жидкости в трубопроводной системе не нарушается во время ремонта. Нанокompозитные трубопроводы, армированные волокном, становятся реальной альтернативой стальным трубопроводам с точки зрения производительности и стоимости. Конструкция трубопровода обычно включает внутреннюю непроницаемую барьерную трубу, по которой транспортируется жидкость (газ или жидкость под давлением), защитный слой над барьерной трубой, межфазный слой над защитным слоем, несколько композитных слоев из стекло- или углеродного волокна, внешний барьерный слой под давлением и внешний защитный слой [1, 3, 5].

Нанотехнологии в производстве бетона

Бетон с высокими эксплуатационными характеристиками (HPC) — это бетон, который

был разработан как более долговечный и, при необходимости, более прочный материал, чем обычный бетон. Смеси HPC состоят, по существу, из тех же материалов, что и обычные бетонные смеси, но пропорции разработаны или спроектированы таким образом, чтобы обеспечить прочность и долговечность, необходимые для структурных и экологических требований проекта. Высокопрочный бетон определяется как имеющий указанную прочность на сжатие 8000 фунтов на квадратный дюйм (55 МПа) или выше. Над этой актуальной разработкой трудятся крупнейшие производители Японии, Германии, Швейцарии и Норвегии [6, 7]. Механизмы образования структуры и разрушения работают на каждом уровне. Это как нано-, микро-, так и макромасштабы.

Благодаря нанотехнологиям возможно также создание сверхпрочного бетона (UHPC), который представляет собой цементный бетонный материал, имеющий минимальную заданную прочность на сжатие 17 000 фунтов на квадратный дюйм (120 МПа) с заданными требованиями к долговечности, пластичности при растяжении и прочности; для достижения заданных требований в смесь обычно включаются волокна.

Сверхвысокоэффективный бетон также известен как реактивный порошковый бетон (RPC). Материал обычно изготавливается путем соединения портландцемента, дополнительных цементирующих материалов, реактивных порошков, известняковой и/или кварцевой муки, мелкого песка, высокоэффективных водопонижающих добавок и воды.

Материал может быть приготовлен таким образом, чтобы обеспечить прочность на сжатие свыше 29 000 фунтов на квадратный дюйм (200 МПа). Использование мелкозернистых материалов для матрицы также обеспечивает плотную, гладкую поверхность, которая ценится за эстетику и способность точно передавать детали формы на затвердевшую поверхность. В сочетании с металлическими, синтетическими или органическими волокнами она может достигать прочности на изгиб до 7 000 фунтов на кв. дюйм (48 МПа) и выше.

Нанохимия позволяет конструировать в направлении от самого незначительного размера к самому большому, позволяет создать множество новой продукции, которую можно с успехом использовать в бетонных технологиях. В частности, в настоящее время активно создаются новые добавки для бетона.

Главным образом это поликарбоксилатные суперпластификаторы [6, 8]. Более высокие показатели (в частности, более прочный

цементный камень до 115 МПа при контрольной прочности 72–89 МПа) достигаются благодаря тому, что формируются органоминеральные нанослои (наносетки) на частицах цемента. При этом происходит аморфизация поверхности [1, 5, 9, 10].

За счет того, что наночастицы используются в обычных стройматериалах, эти материалы обретают специфические характеристики, которые очень важны при возведении специальных, большепролетных и высотных конструкций [11–13].

Как уже отмечалось ранее, в последние годы добавление наноматериалов в бетонные смеси привлекает все большее внимание ученых, и в данном контексте nano-SiO_2 (нанокремнезем, рис. 2, 3) $\text{nano-Al}_2\text{O}_3$ являются

очень актуальными темами исследования.

Нано- SiO_2 представляет собой белый пушистый порошок из аморфного кремнезема высокой чистоты. Из-за малого размера частиц нано- SiO_2 обладает такими преимуществами, как большая удельная поверхность, сильная поверхностная адсорбция, большая поверхностная энергия, высокая химическая чистота и хорошая дисперсия.

Самой слабой зоной в бетоне является граница раздела между цементной матрицей и заполнителем. Добавление соответствующего количества нано- SiO_2 в бетон может повысить прочность границы раздела и очистить поры, что позволит эффективно снизить водопроницаемость бетона.

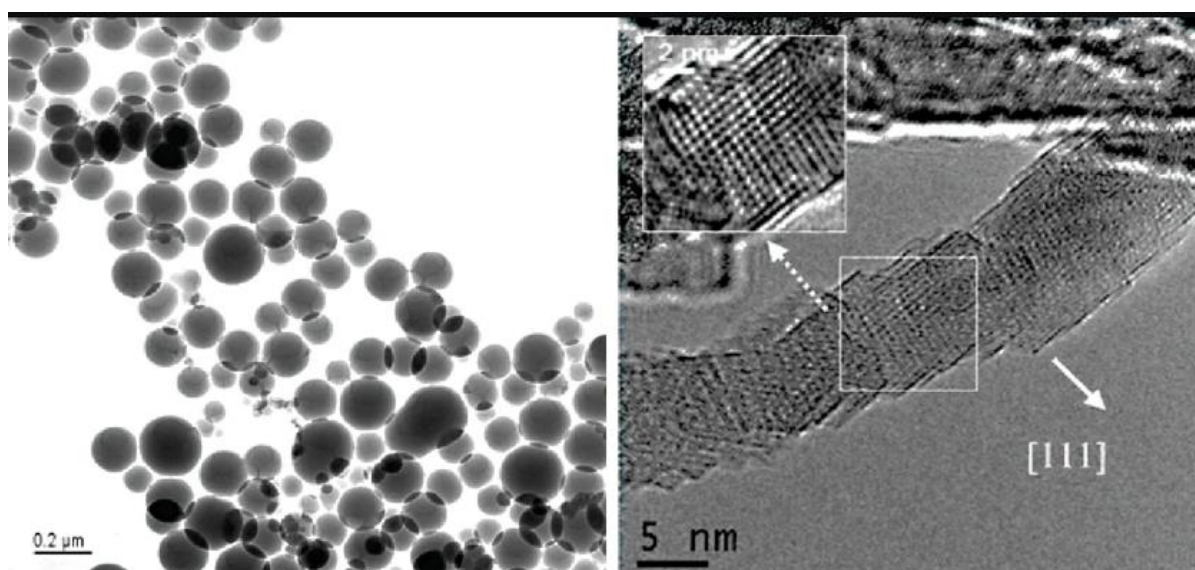


Рис. 3. Частицы нанокремнезема (слева) [1, 12, 14] и нановолокна Al_2O_3 , предоставленные ANF Development (справа). В процессе фотосъемки применялась просвечивающая электронная микроскопия

Fig. 3. Particles of nano-silica (left) [1, 12, 14] and nano-fibers Al_2O_3 provided by ANF Development (right). Photos taken using transmission electron microscopy

Нанокремнезем также может оптимизировать микроструктуру переработанного бетона. Частицы кремнезема способствуют реакции гидратации для получения более плотных гелеобразных материалов, что может улучшить прочность границы раздела между отработанным бетоном и цементным раствором [3].

Н. D. Raghavendra Prasad [2] сравнил улучшающее воздействие коллоидного нано- SiO_2 и порошкообразного нано- SiO_2 на механические свойства бетона и обнаружил, что порошкообразный нано- SiO_2 способствует образованию большего количества C-S-H в растворе. Поэтому порошок нано- SiO_2 более эффективен для улучшения механических свойств бетона. Объем пор цементного

раствора, приготовленного путем замены части цемента на нано- SiO_2 , может быть уменьшен на 13,4 %, и это не оказывает отрицательного влияния на пористость и проницаемость цементного раствора.

Следует отметить, что нановолокна (к примеру, нано- Al_2O_3 , см. рис. 3, справа) – это еще один перспективный элемент, который применяется в технологии изготовления бетона [15–17]. Например, из результатов экспериментальных испытаний следует, что образцы кирпича NA, содержащие наночастицы Al_2O_3 , имеют значительно более высокую прочность на нагрузку по сравнению с образцами без частиц $\text{NanoAl}_2\text{O}_3$ и другими образцами кирпича в каждом возрасте твердения.

Также установлено, что оптимальное соотношение NanoAl₂O₃, которое может быть лучшим содержанием для замены цемента, составляет около 1,5 % для испытаний на прочность [18].

Для исследования влияния наночастиц Al₂O₃ на прочность на сжатие, сорбцию и начальное водопоглощение бетона наночастицы Al₂O₃ были добавлены в различных количествах: 0,5, 1, 2, 4 и 8 % в составе цемента. Прочность на сжатие была проверена через 7, 28 и 90 дней твердения, и результаты показали, что прочность бетона на сжатие увеличивается до 10 % в 28 дней при добавлении 0,5 % наноглинозема в качестве замены цемента. Почти такие же результаты были зарегистрированы и для других возрастов. Что касается начального водопоглощения и проницаемости, то приблизительный результат заключается в том, что они оба уменьшаются при увеличении дозировки наноглинозема [8].

Коррозия арматуры в бетоне считается существенным фактором, способствующим возникновению недостатков железобетона, которые приводят к (часто преждевременному) разрушению зданий и сооружений. Как правило, заделанная сталь защищена щелочным раствором в порах бетона путем образования пассивного оксидно-гидроксидного слоя на поверхности стальной арматуры. Однако эта пассивация стальной арматуры может быть нарушена в результате снижения щелочности (из-за карбонизации или воздействия кислоты) или присутствия избыточного количества хлорид-ионов.

В данном случае наноматериалы также позволяют решить обозначенную задачу. Добавление наноматериалов, включая нанокремнезем, нано-CaCO₃, CNT и углеродное нановолокно, может повысить устойчивость бетона к коррозии арматуры. Присутствие нанокремнезема и нано-CaCO₃ в бетонах из золы уноса уменьшает общую капиллярную пористость и диаметр пор, тем самым снижая водопроницаемость и диффузионную способность хлоридов, и, в конечном итоге, снижая скорость коррозии заделанной арматуры.

Помимо использования в качестве добавок в свежем бетоне, наночастицы также изучаются на предмет их применения для восстановления старого бетона.

Новый метод, названный электрокинетической обработкой наночастицами, предназначен для введения электрически заряженных наноматериалов (нанокремнезема и наноалюмината) в старый бетон и перемещения их к армированной арматуре путем приложения электрического поля.

Помимо восстановления потрескавшегося бетона, эта обработка также эффективна для уменьшения коррозии арматуры, что может быть связано с уменьшением содержания хлоридов, улучшением микроструктуры и дополнительным образованием C-S-H.

В зависимости от назначения и целей возведения, эксплуатации зданий и сооружений может быть использован конкретный наноматериал. Если речь идет о внутренних перекрытиях, частных зданиях, в большинстве своем используются облегченные варианты. Аэродромные полосы, автострада и скоростные магистрали, платформы для добычи газа и нефти нуждаются в более прочных формах. Для массивных железобетонных сооружений, мостов, высотных зданий наиболее приемлемым является сверхпрочный нанобетон.

В таблице представлены основные качества усовершенствованного камня и его достоинства.

С появлением наночастиц ударными темпами стали развиваться многие сферы промышленности. Новые материалы превосходят аналоги и расширяют горизонты. Слово «нанотехнология» прочно вошло во многие отрасли.

Таким определением обозначают мельчайшие частицы с уникальными свойствами. Вот и сфера строительных материалов стала объектом внедрения полезных добавок-малюток. Развитие методов характеристик наноразмерной структуры материалов на основе цемента и компьютерного материаловедения дали возможность ученым изучить структуру бетона, задать необходимые улучшенные технические характеристики.

Одним из результатов разработок ученых стал нанобетон: он и производится по особой технологии, и состав имеет уникальный. В основе материала – либо специальные нанодобавки, заменяющие традиционные пластификаторы, либо компоненты, измельченные особым образом.

Наноразмерные вяжущие вещества могут придать бетону новые свойства в отношении обрабатываемости, прочности и долговечности. Добавление наночастиц диоксида кремния заполняет поры в бетоне, делая его более плотным и твердым. Сверхвысокоэффективный/высокопрочный бетон также содержит стальные волокна, которые повышают прочность на разрыв. Эти виды бетона достигают прочности на сжатие, подобной прочности стали, более 200 Н/мм².

Полимерные добавки (например, искусственные смолы) способствуют разжижению и стабилизации цементной суспензии, которая

используется для создания самоуплотняющихся бетонов. Высокая прочность и плотность нано-модифицированного бетона позволяет создавать особенно легкие и хрупкие конструкции, такие как мосты. Новые ремонтные растворы, которые, основаны на нанотехнологиях, характеризуются улучшенными техническими свойствами, такими как большая плотность, прочность на изгиб и сжатие при растяжении, а также морозостойкость. Также утверждается, что они помогают минимизировать повреждения бетона. Кроме того,

небольшой вес и простота в обработке обещают дополнительные преимущества для пользователя. Новые полимерные дисперсии с наноразмерным диоксидом кремния, который подмешивается в цемент, призваны продлить долговечность дорог и в то же время обещают улучшенную обрабатываемость. Как и в сверхвысокоэффективном бетоне, наночастицы SiO₂ заполняют промежутки между частицами бетона, создавая особенно однородную и плотную бетонную матрицу.

Основные качества усовершенствованного камня и его достоинства

The main qualities of the improved stone and its advantages

Свойства	Комментарии	Преимущества
Прочность	В 1,5 раза выше простого бетона Разрушает только интенсивный и длительный ультразвук	Долговечность
Устойчивость к температурным изменениям	Интервал воздействия — от –180 до +800 градусов Цельсия	Использование в экстремальных условиях
Бактерицидность	Выделяет атомарный кислород	Поддерживает особый микроклимат
Крепкое сцепление бетона и металла	Проникает к участку коррозии, восстанавливая прочность	Реставрационные работы
Малый вес	Обеспечивается уменьшенным объемом воды в растворе	Облегчение всей конструкции, удешевление стройки за счет менее мощного фундамента
Однородность структуры	Не дает трещин, расслоения, надломов	Возможность использовать метод литья
Водонепроницаемость	Не требует гидроизоляции	Не пропускает влагу внутрь помещений
Огнеупорность	+800 градусов Цельсия	Пожаробезопасность
Химическая устойчивость к кислотам и щелочам	В результате взаимосвязи наночастиц	Использование в агрессивной среде
Низкая стираемость	За счет однородности и плотности массы высокая удароустойчивость	Хорош для дорожных и напольных покрытий

Кроме того, полимеры в дисперсии обладают водоотталкивающими свойствами. Это снижает водопоглощающую способность дорожного основания и повышает морозостойкость.

Эти новые добавки позволяют получить дополнительные преимущества: для изготовления дорожного полотна можно использовать местные материалы (песок, глину или вынутый грунт), при этом транспортировка материала будет осуществляться на меньшие расстояния.

Процесс схватывания вяжущего вещества (например, цемента) и полимерной добавки может происходить как в пресной, так и в соленой воде, а обработка возможна даже при температуре ниже –10° С [4].

Заключение

Однако на сегодняшний день применение рассматриваемых технологий в сфере

строительства довольно ограничено, так как передовые идеи главным образом направлены на то, чтобы достичь поверхностного эффекта, а не создать новые структуры стройматериалов. Технологические процессы, по которым изготавливаются изделия, конструкции на сегодняшний день отвечают всем требованиям СП и ГОСТ.

Тем не менее, достижения глобальных исследований в сфере нанотехнологий уже применяются в строительстве. Это многие производственные процессы, которые не обходятся без конструкционных композиционных материалов, имеющих уникальные показатели прочности.

Также в процессе производства применяются инновационные разновидности арматурных сталей. Помимо строительной отрасли сфера использования наноматериалов и нанотехнологий стремительно расширяется.

Композиционные покрытия на основе нанобетона нашли свое широкое применение для канализационных сооружений, которые находятся под влиянием агрессивной среды.

Многослойный композит также подходит для стен и полов зданий общего пользования – торговых и административных центров, парковок, школ. Для лучшего понимания инженерных свойств и сложности бетона на основе цемента и дополнительных цементирующих материалов в наномасштабе необходимо

использовать междисциплинарный и многонаправленный подход, включающий в себя такие области науки, как гражданское строительство, материаловедение, физика и другие смежные дисциплины.

Это позволит более достоверно определить влияние нанотехнологий на важные процессы, связанные с производством и использованием бетона, строительных материалов, включая изменения показателей прочности, долговечности и адаптированных свойств.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Жданок С.А., Полонина Е.Н., Леонович С.Н. Влияние полимерных суперпластификаторов на различные виды углеродных наноматериалов // Инженерно-физический журнал. 2022. Т. 95. № 1. С. 165–168.
2. Prasad H. D. R., Sitaram N. Performance of nano materials for the strength development in concrete cube used as Partial replacement for cement at different temperatures // Materials today: proceedings. 2021. Vol. 45. Part 7. p. 7253-7258. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.03.415>.
3. Kejin Wang, Gdoutos M. K., Sobolev K., Shah S. P. Preface to the TRR Special Collection on Nanotechnology of Cement and Concrete // Transportation research record. 2021. Vol. 2675. Iss. 9. p. 1-3. <https://doi.org/10.1177/03611981211041627>.
4. Shiyu Zhang, Liang Shen, Hao Deng, Qinze Liu, Xinda You, Jinqiu Yuan, et al. Ultrathin Membranes for Separations: A New Era Driven by Advanced Nanotechnology // Advanced materials. 2022. Vol. 34. Iss. 21. p. 14-20. <https://doi.org/10.1002/adma.202108457>.
5. Моисеева В. И., Пирогова Я. В., Тюменцев М. Е., Паньков П. А. Нанотехнологии в области производства строительных материалов // Инновации и инвестиции. 2019. № 11. С. 293–297.
6. Dahlan A. S. Impact of nanotechnology on high performance cement and concrete // Journal of molecular structure. 2021. Vol. 1223. p. 128896. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2020.128896>.
7. Faraj R. H., Mohammed A. A., Omer K. M. Self-compacting concrete composites modified with nanoparticles: A comprehensive review, analysis and modeling // Journal of building engineering. 2022. Vol. 50. p. 104170. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104170>.
8. Bhatta D. P., Singla S., Garg R. Microstructural and strength parameters of Nano-SiO₂ based cement composites // Materials today: proceedings. 2021. Vol. 46. Part 15. p. 6743-6747. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.04.276>.
9. Конторов А. М., Глущенко А. Ю. Цементобетоны: получение, свойства, применение. Модификация цементобетонов кремнийорганическими соединениями – полисилазанами и полисилоксанами // Бутлеровские сообщения. 2021. Т. 68. № 12. С. 43–52. <https://doi.org/10.37952/ROI-jbc-01/21-68-12-43>.
10. Mustafa T. S., El Hariri M. O. R., Nader M. A., Montaser W. M. Enhanced shear behaviour of reinforced concrete beams containing Nano-Titanium // Engineering structures. 2022. Vol. 257. p. 114082. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.114082>.
11. Жданок С. А., Потапов В. В., Полонина Е. Н., Леонович С. Н. Модификация цементных бетонов добавками, содержащими наноразмерные материалы // Инженерно-физический журнал. 2020. Т. 93. № 3. С. 669-673.
12. Марко О. Ю., Ливинская В. А., Корбут Е. Е. Бетонные смеси и бетон с добавкой "УКД-1" - оценка изменений свойств // Проблемы современного бетона и железобетона. 2019. № 11. С. 164–188. <https://doi.org/10.35579/2076-6033-2019-11-11>.
13. Nair P. A. K., Vasconcelos W. L., Paine K., Calabria-Holley J. A review on applications of sol-gel science in cement // Construction and building materials. 2021. Vol. 291. p. 123065. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123065>.
14. Huseien G. F., Khalid N. H. A., Mirza J. Nanotechnology for smart concrete. Boca Raton: CRC Press, 2022. 287 p.
15. Моница Т. А., Антонов И. И. Современные материалы и технологии в прототипировании. Нанотехнологии и наноматериалы // Декоративное искусство и предметно-пространственная среда. Вестник МГХПА. 2021. № 2-2. С. 20–28.
16. Слдозян Р. Д., Михалева З. А., Ткачев А. Г. Физико-механические свойства композитов строительного назначения с углеродными наноструктурами // Материаловедение.

Энергетика. 2020. Т. 26. № 2. С. 103–113.
<https://doi.org/10.18721/JEST.26208>.

17. Фиговский О., Штейнбок А. Нанотехнологии в строительстве // Строительство: новые технологии – новое оборудование. 2021. № 2. С. 4–18.

18. Murad Y. Compressive strength prediction for concrete modified with nanomaterials // Case studies in construction materials. 2021. Vol. 15. p. 45-56. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00660>.

REFERENCES

1. Zhdanok SA, Polonina EN, Leonovich SN. Influence of polymer superplasticizers on various types of carbon nanomaterials. *Inzhenerno-fizicheskii zhurnal = Journal of engineering physics and thermophysics*. 2022;1:165-168. (In Russ.).
2. Prasad HDR, Sitaram N. Performance of nano materials for the strength development in concrete cube used as Partial replacement for cement at different temperatures. *Materials today: proceedings*. 2021;45-7:7253-7258. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.03.415>.
3. Kejin Wang, Gdoutos MK, Sobolev K, Shah SP. Preface to the TRR Special Collection on Nanotechnology of Cement and Concrete. *Transportation research record*. 2021;2675(9): 1-3. <https://doi.org/10.1177/03611981211041627>.
4. Shiyu Zhang, Liang Shen, Hao Deng, Qinze Liu, Xinda You, Jinqiu Yuan, et al. Ultrathin Membranes for Separations: A New Era Driven by Advanced Nanotechnology. *Advanced materials*. 2022;34(21):14-20. <https://doi.org/10.1002/adma.202108457>.
5. Moiseeva VI, Pirogova JaV, Tjumencev ME, Pan'kov PA. Nanotechnology in the production of building materials. *Innovatsii i investitsii*. 2019;11:293-297. (In Russ.).
6. Dahlan AS. Impact of nanotechnology on high performance cement and concrete. *Journal of molecular structure*. 2021;1223:128896. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2020.128896>.
7. Faraj RH, Mohammed AA, Omer KM. Self-compacting concrete composites modified with nanoparticles: A comprehensive review, analysis and modeling. *Journal of building engineering*. 2022;50:104170. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104170>.
8. Bhatta DP, Singla S, Garg R. Microstructural and strength parameters of Nano-SiO₂ based cement composites. *Materials today: proceedings*. 2021;46-15:6743-6747. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.04.276>.
9. Kontorov AM, Glushhenko AJu. Cement concrete: production, properties, application. Modification of cement concretes with organosilicon compounds - polysilazanes and polysiloxanes.

Butlerovskie soobshcheniya = Butlerov Communications. 2021;68(12):43-52. (In Russ.). <https://doi.org/10.37952/ROI-jbc-01/21-68-12-43>.
10. Mustafa TS, El Hariri MOR, Nader MA, Montaser WM. Enhanced shear behaviour of reinforced concrete beams containing Nano-Titanium. *Engineering structures*. 2022;257:114082. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.114082>.
11. Zhdanok SA, Potapov VV, Polonina EN, Leonovich SN. Modification of cement concrete by admixtures containing nanosized materials. *Inzhenerno-fizicheskii zhurnal = Journal of engineering physics and thermophysics*. 2020;3: 669-673. (In Russ.).
12. Marko OJu, Livinskaja VA, Korbut EE. Concrete mixtures and concrete with the addition of "UKD-1" - evaluation of changes in properties. *Problemy sovremennogo betona i zhelezo-betona*. 2019;11:164-188. (In Russ.). <https://doi.org/10.35579/2076-6033-2019-11-11>.
13. Nair PAK, Vasconcelos WL, Paine K, Calabria-Holley J. A review on applications of sol-gel science in cement. *Construction and building materials*. 2021;291:123065. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123065>.
14. Huseien GF, Khalid NHA, Mirza J. Nanotechnology for smart concrete. Boca Raton: CRC Press; 2022. 287 p.
15. Monina TA, Antonov II. Modern materials and technologies in prototyping. Nanotechnology and nanomaterials. *Dekorativnoe iskusstvo i predmetno-prostranstvennaya sreda. Vestnik MGKhPA*. 2021;2:20-28. (In Russ.).
16. Sldozian RJ, Mikhaleva ZA, Tkachev AG. Physico-mechanical properties of building composites with carbon nanostructures. *Materi- alovedenie. Energetika*. 2020;2:103-113. (In Russ.). <https://doi.org/10.18721/JEST.26208>.
17. Figovskii O, Shteinbok A. Nanotechnology in construction. *Stroitel'stvo: novye tehnologii – no- voe oborudovanie*. 2021;2:4-18. (In Russ.).
18. Murad Y. Compressive strength prediction for concrete modified with nanomaterials. *Case studies in construction materials*. 2021;15:45-56. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00660>.

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

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры строительных конструкций и
управляемых систем
Инженерно-строительного института,
Сибирский федеральный университет,
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79,
Россия,
e-mail: last_pro@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0751-1631>

Т. В. Данченко,

старший преподаватель кафедры
геометрического моделирования и
компьютерной графики Института
архитектуры и дизайна,
Сибирский федеральный университет,
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79,
Россия,
e-mail: Danchenko_53@inbox.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8146-6608>

И. Я. Петухова,

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры строительных конструкций и
управляемых систем
Инженерно-строительного института,
Сибирский федеральный университет,
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79,
Россия,
e-mail: isi_skus@sfu-kras.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8442-2064>

И. А. Поляков,

старший преподаватель кафедры
строительных конструкций и управляемых
систем Инженерно-строительного института,
Сибирский федеральный университет,
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79,
Россия,
e-mail: polyakov_ilya@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8442-2064>

Information about the authors**Anatoli V. Lastovka,**

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department of
Building Structures and Controlled Systems of
the Institute of Civil Engineering,
Siberian Federal University,
79 Svobodny Ave., Krasnoyarsk, 660041,
Russia,
e-mail: last_pro@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0751-1631>

Tamara V. Danchenko,

Senior Lecturer of the Department of Geometric
Modeling and Computer Graphics of the Institute
of Architecture and Design,
Siberian Federal University,
79 Svobodny Ave., Krasnoyarsk, 660041,
Russia,
e-mail: Danchenko_53@inbox.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8146-6608>

Inna Ya. Petukhova,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department of
Building Structures and Controlled Systems of
the Institute of Civil Engineering,
Siberian Federal University,
79 Svobodny Ave., Krasnoyarsk, 660041,
Russia,
e-mail: isi_skus@sfu-kras.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8442-2064>

Ilya A. Polyakov,

Senior Lecturer of the Department of Building
Structures and Controlled Systems of the
Institute of Civil Engineering,
Siberian Federal University,
79 Svobodny Ave., Krasnoyarsk, 660041,
Russia,
e-mail: polyakov_ilya@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8442-2064>

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в
подготовку публикации. Ластовка А. В. несет
ответственность за плагиат.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.
Lastovka A. V. bears the responsibility for plagia-
rism.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта ин-
тересов.

Conflict of interests

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

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

Статья поступила в редакцию 29.07.2022.
Одобрена после рецензирования 15.08.2022.
Принята к публикации 19.08.2022.

The article was submitted 29.07.2022.
Approved after reviewing 15.08.2022.
Accepted for publication 19.08.2022.



К вопросу о пожарной безопасности при строительстве индивидуальных жилых домов

© Игорь Владимирович Наумов^{1,2}

¹Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

²Иркутский государственный аграрный университет имени А. А. Ежевского, Иркутский р-н, Россия, professornaumov@list.ru

Аннотация. Цель – выявить возможные способы снижения пожарной опасности при индивидуальном жилищном строительстве. В работе применялась совокупность общенаучных методов, в том числе методы теории электрических цепей, метод численного анализа и методы визуализации с применением графического редактора *Matlab*. Осуществлен анализ состояния жилищного строительства в Российской Федерации и, в частности, в Байкальском регионе. Установлено, что, в соответствии с национальными проектами, в последние годы значительно повысился уровень развития индивидуального домостроения. При этом при строительстве увеличивается процент использования деревянных конструкций, которые в значительной степени подвержены угрозе возникновения пожароопасных состояний. Проанализировано состояние пожарной опасности Иркутской области, и установлена одна из наиболее вероятных причин возгораний, связанная с нарушением правил устройства и эксплуатации электроустановок. Доказано, что наиболее часто встречающейся причиной таких нарушений является несимметрия фазных токов, вызывающая дополнительные тепловые потери, способствующие возникновению пожаров. На реальном примере доказана эффективность использования симметрирующих устройств для снижения последствий несимметричного электропотребления. Осуществление мероприятий по симметрированию режимов работы внутренней электрической сети жилого дома является одним из наиболее действенных способов снижения пожарной опасности в индивидуальных жилых домах. По результатам исследования разработаны рекомендации, которые могут быть интересны специалистам строительных организаций, а также сотрудникам МЧС, контролирующим состояние пожарной безопасности индивидуальных жилых домов.

Ключевые слова: несимметрия фазных токов, дополнительные потери мощности, короткие замыкания, пожарная опасность, нарушение правил устройства и эксплуатации электроустановок, симметрирующее устройство, перераспределение электрических нагрузок потребителей

Для цитирования: Наумов И. В. К вопросу о пожарной безопасности при строительстве индивидуальных жилых домов // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 3. С. 350–361. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-3-350-361>.

Original article

Revisiting the issue of fire safety in private housing construction

Igor V. Naumov^{1,2}

¹Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

²Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Yezhevsky, Irkutsky district, Russia, professornaumov@list.ru

Abstract. Possible approaches to reducing the fire hazard in private housing construction are considered. The study was conducted using general scientific methods, including network analysis, numerical analysis and the methods of visualisation using *Matlab* graphic editor. The current state of housing construction in the Russian Federation and, in particular, Baikal region, is analysed. It was established that, due to the implementation of national projects, the level of private housing construction has increased considerably in recent years. At the same time, the use of wooden structures, which are exposed to increased threat of fire hazards, is gaining in popularity. An analysis of fire hazard in Irkutsk Oblast revealed that one of

the most probable causes of ignition is associated with the violation of rules for arrangement and operation of electricity-generating equipment. The most common cause of such violations was proved to be the asymmetry of phase currents, which causes additional heat losses contributing to the occurrence of fires. The effectiveness of balancing devices in reducing the consequences of asymmetric power consumption was confirmed on a specific example. The implementation of measures to balance the operating modes of internal electrical networks of residential buildings represents one of the most effective ways to reduce fire risks in private residential buildings. Based on the obtained results, a set of recommendations is proposed for use by specialists of construction organizations, as well as employees of the Ministry of Emergency Situations controlling the fire safety of individual residential buildings.

Keywords: asymmetry of phase currents, additional power losses, short circuits, fire hazard, violation of the rules for the design and operation of electrical installations, balancing device, redistribution of electrical loads of consumers

For citation: Naumov I. V. Revisiting the issue of fire safety in private housing construction. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(3):350-361. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-3-350-361>.

Введение

Население планеты неуклонно возрастает. На 15:51 26.08.2022 г. количество народонаселения планеты составило 8 012 469 676 чел., для России эта цифра составляет 146 062 150 чел., для Иркутской области (ИО) – 2 357 134 (г. Иркутск – 26,19 %)¹. Соответственно этому развивается жилищное строительство и постоянно увеличивается его объем. Так, по данным сайта «Риарейтинг»², общая площадь жилых помещений, приходящаяся в среднем на одного жителя рейтинговых по объему ввода жилья городов (100 городов России), составляет 26,717 м² на человека. При этом средний объем введенного жилья в 2021 г. составил 447,185 тыс. м². В Иркутске эти цифры на тот же период составляют 28,29 м² и 279,1 м² соответственно (60-е место по России, на 1-м месте г. Краснодар – 39,9 м² и 2617 м² соответственно). В общем увеличении объема жилищного строительства, в соответствии с поручением Президента РФ, на первое место выдвигается инициатива «Мой частный дом», в соответствии с которой к 2030 г. предусматривается ввод в эксплуатацию 60 млн м² индивидуальных жилых домов³ (ИЖД⁴). Но при этом непрекращающимся бедствием являются

возгорания, происходящие на различных объектах жизнедеятельности людей.

Ежеминутно население планеты страдает от различных по своей интенсивности пожаров, в которых гибнут десятки тысяч людей, сотни тысяч получают серьезные травмы и растет невосполнимый материальный ущерб. По опубликованным данным, при обследовании 36 % населения планеты (более 2,7 млрд чел.) в 46 странах мира установлено, что в среднем на каждые 100 тыс. человек при пожарах гибнет 1,1 человек, 1,9 чел. получают травмы. При этом на каждые 100 пожаров в среднем приходится 0,7 погибших и 1,1 травмированных людей [1]. Причины возникновения пожаров весьма многообразны, их анализу уделяется значительное внимание в отечественной и зарубежной литературе [2, 3].

Ежегодно мы все являемся свидетелями катастрофических лесных пожаров, в результате которых ежегодно уничтожается по всему миру сотни тысяч гектар леса, гибнут и получают травмы люди и теряют свое имущество и жилье. Лесные пожары – особая тема, и в данной статье она не рассматривается. Речь идет о тех пожарах, которые возникают непосредственно в жилых помещениях, причины которых также весьма многообразны. Но в

¹Счетчик населения Земли [Электронный ресурс]. URL: <https://countrymeters.info/ru/World> (26.08.2022);

Численность постоянного населения Иркутской области по Муниципальным образованиям (на начало года) [Электронный ресурс]. URL: https://irkutskstat.gks.ru/storage/mediabank/post_nas_2022.html (26.08.2022).

²Рейтинг городов России по объемам ввода жилья – 2022 [Электронный ресурс]. URL: <https://riarating.ru/infografika/20220808/630226990.html> (26.08.2022).

³Деревянное домостроение и вызовы 2022 [Электронный ресурс]. URL: <https://marketing.rbc.ru/articles/13414/> (26.08.2022);

Об утверждении перечня инициатив социально-экономического развития РФ до 2030 г.: Распоряжение Правительства РФ от 6 октября 2021 г. № 2816-р [Электронный ресурс]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/402792803/> (26.08.2022).

⁴К понятию ИЖД следует относить: индивидуальные частные жилые дома в городах и сельских населенных пунктах; дачи, коттеджи, а также дома в коттеджных поселках в черте и за чертой городов.

данном исследовании речь будет идти о тех пожарах, которые обусловлены одной из традиционных причин возгораний – нарушением Правил устройства и эксплуатации электрооборудования (НПУ и ЭЭ)⁵. Так, при анализе пожаров за период 2000–2020 гг. установлено, что более 20 % всех пожаров приходится именно на указанную причину, а из общего количества погибших (263 482 чел.) по причине НПУ и ЭЭ в пожарах за этот период погибло 17,17 %. Из общего количества травмированных (238 648 чел.) на причину НПУ и ЭЭ приходится 17,54 %, а общий материальный ущерб от пожаров по этой причине составил 33,92 % (77 940 336 тыс. рублей) [3].

Целью статьи является исследование возможности снижения пожарной опасности в индивидуальном жилищном строительстве. При этом предполагается решение следующих **задач**: характеристика современного жилищного строительства в Байкальском регионе; анализ возникновения пожароопасных ситуаций и их причин; исследование возможных способов минимизации пожароопасных ситуаций в ИЖД и разработка рекомендаций.

Методы

Теоретическую и методологическую базу исследования представляют изложенные в научной литературе и специальной периодической печати различные подходы к механизму определения симметричных составляющих токов и напряжений при несимметричном электропотреблении, научные труды российских ученых и специалистов, посвященных исследованию несимметричных режимов работы электрических сетей, а также функционирования средств симметрирования. Информационную базу исследования составили аналитические материалы Министерства чрезвычайных ситуаций и информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», официальные сайты компаний, представляющих новые конструкционные материалы. В работе применялась совокупность общенаучных методов, в том числе методы теории электрических цепей, численного анализа и визуализации с использованием графического редактора *Matlab*.

Результаты исследования Характеристика современного домостроения и уровня пожарной опасности в Иркутской области

Жилищное строительство в Байкальском регионе в последнее время развивается достаточно интенсивно. На основе обработки данных Министерства строительства Иркутской области⁶ получены диаграммы, иллюстрирующие динамику сдачи в эксплуатацию жилья за 8 месяцев 2022 г. (рис. 1).

Анализ рис. 1 показал, что с января по август 2022 г. включительно⁷ в Байкальском регионе (Иркутская область – ИО, Республика Бурятия – РБ) введено в эксплуатацию 8834 тыс. м² жилья, что составляет 1,143 % (772 874 тыс. м²) от объема жилья, введенного в эксплуатацию за то же время по Российской Федерации. В ИО введено 6187 тыс. м² (0,8 %), в РБ – 2647 тыс. м² (0,343 %). Безусловно, это значительно меньше, чем темпы жилищного строительства в Московской области за этот же период (9,21 % – 71 185 тыс. м²) или даже в Красноярском крае (1,7 % – 13 139 тыс. м²), но, как видно, строительство в нашем регионе развивается достаточно быстрыми темпами.

При этом наиболее распространенным материалом стен строящихся домов в Иркутской области является монолит-кирпич. Из него возводится 58,6 % от всей площади жилищного строительства. В целом по Российской Федерации доля монолитно-кирпичного домостроения в пересчете на площадь жилых единиц в строящихся домах – 63,6 %. Эти данные относятся к многоэтажному строительству⁸.

Индивидуальное жилищное строительство в Иркутской области развивается также значительными темпами. Так, по опубликованным данным, в Иркутской области за шесть месяцев 2021 г. объем ввода индивидуального жилья вырос на 43,92 % по сравнению с аналогичным периодом 2020 года и достиг 583,8 тыс. м², из них 413,6 тыс. м² построено населением. При этом градостроительный потенциал индивидуального жилья составляет⁹ 8,3 млн м².

Таким образом, темпы строительства индивидуальных жилых домов в Иркутской области

⁵О формировании электронных баз данных учета пожаров и их последствий (вместе с Порядком заполнения и представления карточки учета пожара): Приказ МЧС России от 24.12.2018 N 625. Приложение N 2. Порядок заполнения и представления карточки учета пожара. Часть 2. Порядок заполнения карточки учета. Раздел II. Объект пожара. 27. Причина пожара. Таблица 14 [Электронный ресурс]. URL: https://sudact.ru/law/prikaz-mchs-rossii-ot-24122018-n-625/prilozhenie-n-2/chast-2/razdel-ii_1/27/tablica-14/ (24.08.2022).

⁶Официальный сайт Министерства строительства Иркутской области [Электронный ресурс]. URL: <https://irkobl.ru/sites/irkstroy/news/1228655/?type=original> (25.08.2022).

⁷Данные предоставлены на 25.08.2022 г.

⁸Перспективные направления развития индивидуального жилищного строительства в Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: <http://council.gov.ru/activity/activities/parliamentary/135493/> (26.08.2022).

⁹Там же.

очень высоки, и в ближайшее время следует ожидать взрывного роста числа именно ИЖД. Это отчетливо можно проследить, анализируя

и растущую стоимость многоквартирного жилья, и среднюю продажную стоимость ИЖД¹⁰ (рис. 2).

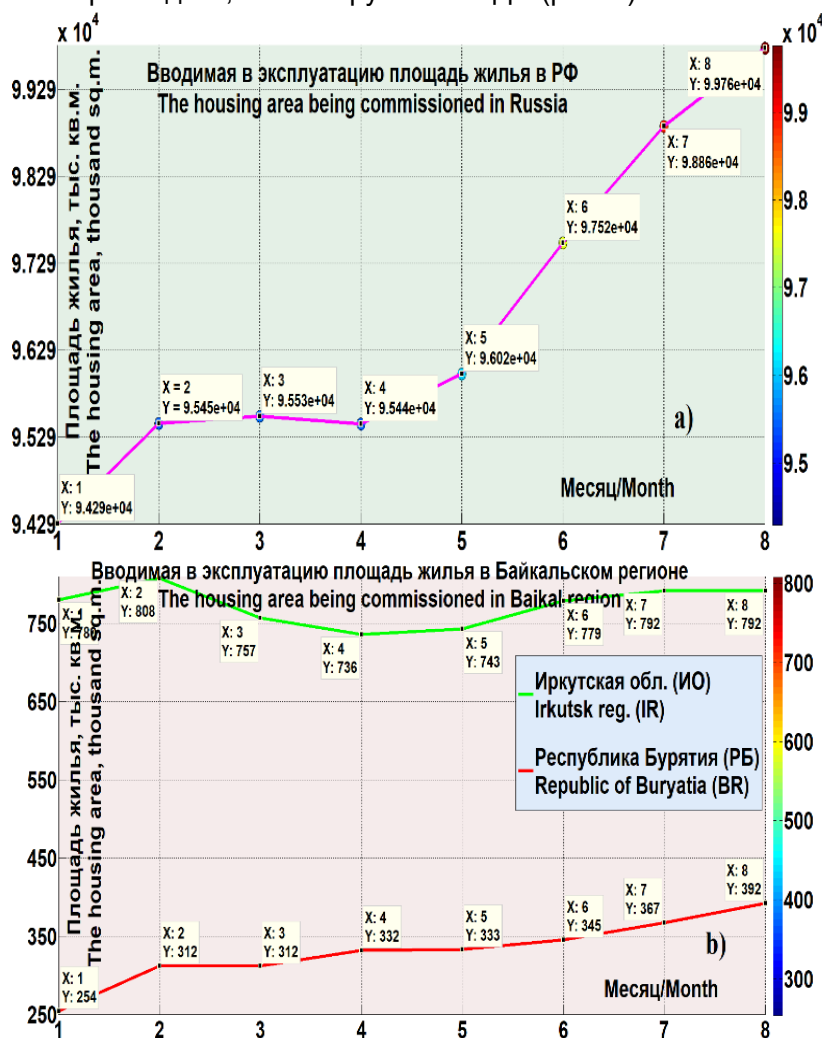


Рис. 1. Динамика строительства на территории России (а) и в Байкальском регионе (b)
Fig. 1. Dynamics of housing construction in Russia (a) and in the Baikal region (b)

На рис. 2 а по оси абсцисс с 1 по 13 откладываются кварталы, начиная с 1 квартала 2021 г., заканчивая 2-м кварталом 2022 г. Как видно, стоимость квартир во 2-м квартале 2022 г. составила 83 021 руб. за 1 м² (рис. 2 а), а на 3-й квартал стоимость¹¹ установлена в размере 89 775 руб./м². Таким образом, начиная с 1 квартала 2021 г. (42 319 руб./м²) по 3 квартал 2022 г. стоимость 1 м² увеличилась в 2,12 раза, то есть более чем на 100 %. При

этом стоимость ИЖД (рис 2 б), изменяясь в течение года, возрастая с 4-го квартала 2021 г. по 2 квартал 2022 г., ближе к концу 3-го квартала 2022 г. вновь уменьшается, и на 25.08.22 в среднем составляет 5 627 345,4 руб. (почти на 10 % меньше, чем в это же время в 2021 г.)¹².

Как следует из проведенного анализа, строительство (или приобретение) ИЖД становится наиболее перспективным.

¹⁰Динамика средних цен. Дачи, коттеджи, дома в коттеджных посёлках [Электронный ресурс]. URL: <https://irkutsk.restate.ru/graph/ceny-prodazhi-domov/> (25.08.2022);

Перечень поручений Президента Российской Федерации по результатам проверки исполнения законодательства и решений Президента РФ по вопросам жилищного строительства от 17.07.2019 года № ПР-1382.

¹¹Стоимость одного квадратного метра жилья в Иркутской области [Электронный ресурс]. URL: <https://mnogodetey.ru/regions/irkobl/kvmetr/> (25.08.2022).

¹²Динамика средних цен. Дачи, коттеджи, дома в коттеджных посёлках [Электронный ресурс]. URL: <https://irkutsk.restate.ru/graph/ceny-prodazhi-domov/> (25.08.2022).

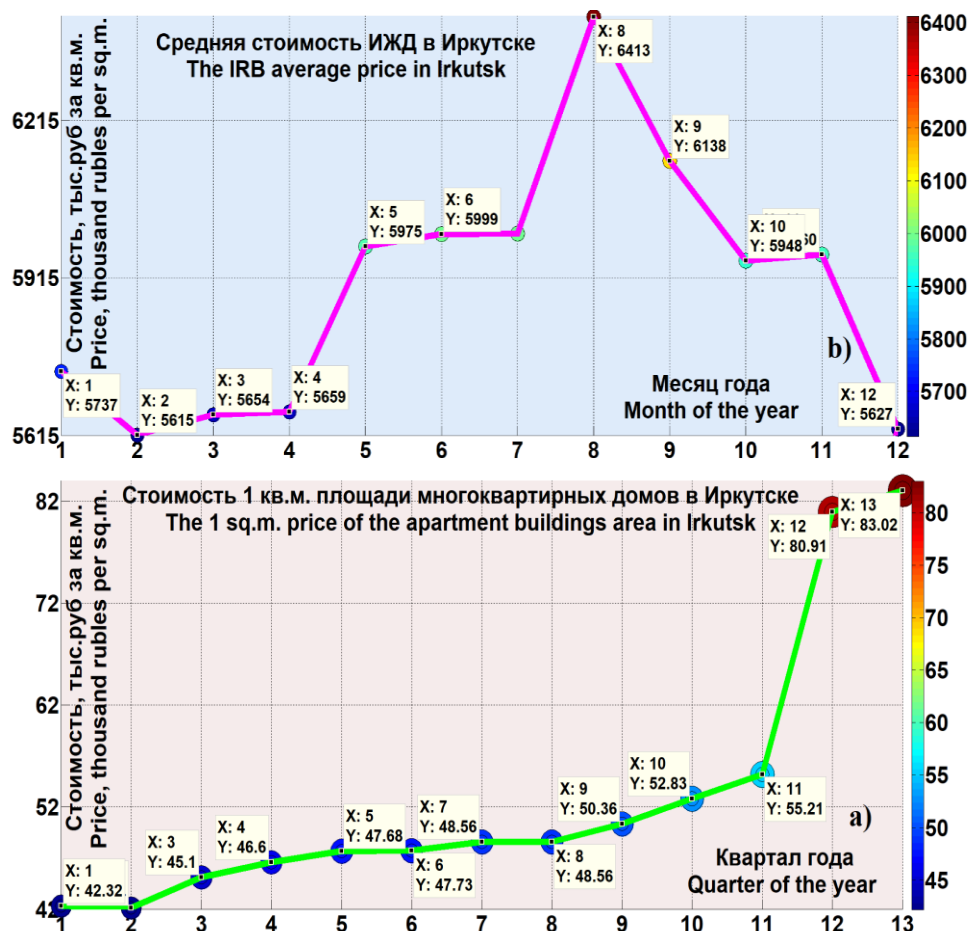


Рис. 2. Динамика изменения стоимости 1 м² жилья в многоквартирных домах (а) и усредненная стоимость индивидуальных жилых домов (ИЖД) в Иркутске (б)

Fig. 2. The price changes dynamics of housing 1 m² in apartment buildings (a) and the average individual residential buildings (IRB) price in Irkutsk (b)

И, кроме того, задача развития сферы индивидуального жилищного строительства предусматривает улучшение жилищных условий граждан путем стимулирования роста ввода таких объектов для «...не менее 5 миллионов семей ежегодно» и «...ввода в эксплуатацию индивидуальных жилых домов в размере 60 млн. кв. метров»¹³.

В дополнение к сказанному необходимо отметить, что в 2018 г. объем деревянного домостроения составлял 7,09 млн м², в 2019 г. – 8,83 млн м²; в 2020 году он вырос на 1 млн 29 тысяч м² и в целом составил 9,859 млн м². В 2021 г. доля полностью деревянного жилья в России достигла 24 % всего

объема жилья¹⁴. Согласно официальной статистике, за четыре месяца в России всего введено 37,6 млн кв. м жилья – на 58 % больше, чем за тот же период прошлого года. С января по апрель 2022 г. населением построено 23,682 млн кв. м жилья, по сравнению с показателями января-апреля 2021 года прирост составил 77,1 %. Самая высокая доля индивидуального жилого строительства в общем объеме строительства наблюдается в Северо-Кавказском федеральном округе (83,6 %), Дальневосточном ФО (73 %) и Южном ФО (70,6 %)¹⁵.

В Иркутской области, по данным на 1 августа 2022 г., в регионе введено 692 тысячи квадратных жилья, из них 189 тысяч – это

¹³Перспективные направления развития индивидуального жилищного строительства в Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: <http://council.gov.ru/activity/activities/parliamentary/135493/> (26.08.2022); Перечень поручений Президента Российской Федерации по результатам проверки исполнения законодательства и решений Президента РФ по вопросам жилищного строительства от 17.07.2019 года № ПР-1382.

¹⁴Ассоциация деревянного домостроения [Электронный ресурс]. URL: <https://npadd.ru/novosti/dolya-derevyanogo-domostroeniya-ot-vsego-stroyashchegosya-zhilya-v-rossii-dostigla-24-protsetov/> (26.08.2022).

¹⁵Сибдом. Иркутская область [Электронный ресурс]. URL: <https://irk.sibdom.ru/news/17994/> (26.08.2022).

многоквартирные дома, 503 тысячи приходится на индивидуальные¹⁶.

В Республике Бурятия, по данным на 18 августа 2022 г., за январь-июль текущего года сдано в эксплуатацию 161 815 м² ИЖД, построенных населением, что на 2459 м² больше, чем за аналогичный период 2021 г.¹⁷.

Таким образом, уровень индивидуального жилищного строительства непрерывно возрастает. Соответственно этому возрастает и опасность пожаров, особенно в ИЖД, сооружаемых из деревянных конструкций. Поэтому необходимо обратить повышенное внимание на предотвращение возможных возгораний при строительстве жилья. Рассмотрим динамику возникновения пожаров на объектах жилищного строительства в России и, в частности, на территории Байкальского региона.

Анализ пожарной активности, причин и средств предотвращения возгораний

По данным ГУ МЧС России по Иркутской области, за 12 месяцев 2021 г. в Иркутской области произошло 6238 пожаров, в которых погибло 177 человек (из них 16 детей), травмировано 203 чел. (22 ребенка). Общий материальный ущерб составил 32 3378 547 руб. При этом наибольшее количество пожаров происходило именно в зданиях жилого сектора (46,43 %)¹⁸. За 6 месяцев 2022 г. по РФ произошло 197 100 пожаров, в Иркутской области – 3742 (около 2 % всех пожаров), в Республике Бурятия – 3335 (1,69 %). Количество погибших людей за этот период составило: по РФ – 4092 чел., по ИО – 112 (2,74 %), по РБ – 9 (0,2 %). При этом следует отметить, что по увеличению числа погибших от пожаров Иркутская область за этот период заняла 2-е место. На 1-м месте Ростовская обл. (2,76 %), на 3-м – Кемеровская обл. (2,71 %). Общий зарегистрированный материальный ущерб от

пожаров за первую половину 2022 г. в РФ составил 7,4 млрд рублей¹⁹.

Анализ причин, по которым произошли пожары в 2021 г. на территории РФ, показал, что из общего количества пожаров (6238) доля пожаров по причине нарушения правил устройства и эксплуатации электрооборудования (НПУ и ЭЭ) составила 28,6 % (1784 пожара). То есть данная причина пожаров занимает 2-е место из 16 (на 1-м месте – неосторожное обращение с огнем, 48,96 %). При этом, по сравнению с 2020 г., количество таких пожаров возросло на 15 % (1551 – в 2020 г.)²⁰.

Рассмотрим, каким образом происходит НПУ и ЭЭ.

Бытовое электропотребление, обусловленное обеспечением нормальных условий жизнедеятельности населения, всегда связано с определенной опасностью, поскольку электрическая энергия непосредственно является зоной повышенной опасности, особенно при пренебрежении установленными в законодательном порядке Правилами устройства электроустановок (ПУЭ)²¹. Указанная причина возникновения пожароопасных ситуаций (НПУ и ЭЭ) имеет достаточно много различных составляющих, связанных с нарушением ПУЭ. Но есть и такая составляющая, незнание особенностей которой чрезвычайно опасно при осуществлении внутренних электропроводок жилых зданий и сооружений.

Речь идет о несимметрии фазных токов и ее последствиях. Суть проблемы заключается в том, что сечение проводников, используемых для внутридомовой электрической сети (ВЭС), выбирается по номинальным параметрам (ток, напряжение, мощность) и проверяется по длительно допустимому току послеаварийного режима²². Но дело в том, что этот ток устанавливается для режима работы электрической сети (ЭС), при котором нагрузка

¹⁶В России зафиксирован бум индивидуального жилищного строительства [Электронный ресурс]. URL: <https://yandex.ru/turbo/expert.ru/s/2022/05/20/v-rossii-zafiksirovan-bum-individualnogo-zhilishchnogo-stroitelstva/> (26.08.2022).

¹⁷Строительство жилых домов по районам Республики Бурятия в январе-июле 2022 года [Электронный ресурс]. URL: https://burstat.gks.ru/storage/mediabank/11-05-03_202207.pdf (26.08.2022).

¹⁸МЧС России. Главное управление по Иркутской области. Пожары за 2021 год [Электронный ресурс]. URL: <https://38.mchs.gov.ru/deyatelnost/napravleniya-deyatelnosti/nadzornaya-deyatelnost-i-profilakticheskaya-rabota/statisticheskie-dannye/2021-god> (26.08.2022).

¹⁹Анализ обстановки с пожарами и их последствиями на территории Российской Федерации за 6 месяцев 2022 года [Электронный ресурс]. URL: ireman.club/literature/analiz-obstanovki-s-pozharami-i-ih-posledstviyami-na-territorii-rf-za-6-mesyaczev-2022/ (26.08.2022).

²⁰Там же.

²¹ПУЭ. Правила устройства электроустановок. Издание 7 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elec.ru/library/direction/pue.html> (25.08.2022).

²²За длительно допустимый ток принимается максимальный рабочий ток, который можно пропустить по проводнику заданного сечения при условии не превышения максимальной температуры нагрева, установленной для данного сечения.

всех фаз трехфазной системы одинакова, то есть фазные токи и, соответственно, напряжения равны. В действительности любая трехфазная ВЭС объективно работает в режиме значительной несимметрии фазных токов и напряжений. Это однозначно установлено многочисленными многолетними исследованиями [4–12 и проч.].

В том случае, когда мощность электрических потребителей в ВЭС была бы равномерно распределена по фазам трехфазной сети, ток в нулевом проводнике был бы равен нулю (этот общеизвестный факт вытекает из теории электрических цепей)²³.

Но так как мощность электрической нагрузки внутридомовых электроприемников неравномерно распределена по фазам трехфазной системы, и, кроме того, имеет вероятностный характер коммутаций (холодильники, водонагреватели, посудомоечные машины, чайники, СВЧ-печи, освещение и проч.), то в результате таких включений-отключений система фазных токов становится несимметричной и в нейтральном (нулевом) проводнике начинает протекать достаточно большой ток.

В итоге на отдельных участках ВЭС суммарный ток в нейтральном проводнике перегревает изоляцию, которая, разрушаясь, приводит к возникновению сначала однофазных, а затем и двух-, и трехфазных коротких замыканий. Безусловно, в этот момент должна срабатывать защита в виде автоматических выключателей, установленных в главном внутридомовом распределительном щите. Однако в большинстве случаев автоматические выключатели выбираются не совсем корректно, поскольку внутренние проводки выполняются зачастую непрофессионалами, далекими от понимания тонкостей проверки этих коммутационных аппаратов на чувствительность к однофазным коротким замыканиям. В результате автоматический выключатель вовремя не разрывает цепь, возникает дуга, которая приводит к возгоранию легковоспламеняющихся конструкций. Более подробно механизм возникновения пожаров при несимметрии токов изложен в статье [13].

Установлено, что критерием оценки превышения тепловых потерь в несимметричном режиме над соответствующими потерями в условно-симметричном режиме (когда электропотребление по фазам равномерно) является коэффициент увеличения потерь мощности: K_P , который определяется по выражению:

$$K_P = 1 + K_{2i}^2 + K_{0i}^2 \cdot K_R, \quad (1)$$

где K_P представляет собой отношение потерь мощности в несимметричном режиме к соответствующим потерям, обусловленным протеканием только токов прямой последовательности; $K_R = r_0/r_1$ – коэффициент активного сопротивления ЛЭП; $r_1 = r_{PH}$ – активное сопротивление прямой последовательности, равное фазному сопротивлению линии электропередачи; $r_0 = r_{PH} + 3 \cdot r_N$ – активное сопротивление нулевой последовательности трехфазного кабеля ВЭС; r_N – активное сопротивление нейтрального проводника (при одинаковых сечениях фазного и нулевого проводников их активные сопротивления будут равны; соответственно, коэффициент K_R в этом случае будет равен 4); K_{2i} , K_{0i} – коэффициенты несимметрии токов по обратной и нулевой последовательностям. Все детали определения составляющих, входящих в выражение (1), подробно описаны в источниках [6–13]. Из изложенного выше следует, что в условно-симметричном режиме коэффициент потерь K_P должен быть равен 1. То есть остальные суммируемые части выражения (1) в этом случае равны 0. На самом деле в действующих ВЭС значение этого коэффициента колеблется в довольно широких пределах. Во многом уровень несимметрии токов зависит от уровня электропотребления в ИЖД, то есть от насыщенности этого дома современными электроприемниками, мощность которых достаточно высока (стиральные машины, однофазные сауны и проч.). Кроме того, в периоды отопительного сезона часто требуется дополнительный обогрев. При этом ВЭС нагружается более обычного и, если никаких мер противодействия сильнейшему перегреву не производится, создаются условия для возникновения пожара. В связи с изложенным, можно утверждать, что большая часть возгораний происходит именно по причине перегрева нейтральных проводников, что приводит к возникновению коротких замыканий и, соответственно, возникновению пожаров. Вместе с этим, кроме конкретных причин, устанавливаемых пожарной инспекцией (таких, как НПУ и ЭЭ), есть еще значительная доля так называемых неустановленных причин (НП), среди которых также высокая вероятность возникновения пожаров по причине перегрева нейтрального проводника. На рис. 3 представлены диаграммы последствий таких пожаров по НП, происшедших в мире с 2000 по 2020 гг. Как следует из этого рисунка, по НП, дополнительно к основным причинам, произошло еще 19 856 пожаров, в которых погибло 2645 и травмировано 1400

²³Матвиенко В. А. Основы теории цепей: учеб. пособ. Екатеринбург: УМЦ УПИ, 2016. 162 с.

человек. Из всего количества травмированных людей в результате пожаров на причину НПУ и ЭЭ приходится 17,54 % случаев [3]. На основании произведенных исследований можно утверждать, что значительная доля пожаров по НП также вызвана несимметрией фазных токов с соответствующими последствиями. Таким образом, для снижения пожарной опасности в жилых помещениях в процессе эксплуатации электрических приемников, обеспечивающих нормальные условия жизнедеятельности, необходимо осуществлять ряд определенных мероприятий. В качестве примера можно рассмотреть результаты исследования работы ВЭС, которые были произведены в декабре 2021 г. и описаны в статье [9]. Исследования производились в одноэтажном ИЖД, в котором проживает семья из 6 человек. Общая установленная мощность электроприемников домовладения составляет 25 кВт. Наиболее крупными из них являются: электрическая печь, стиральная машина, два элементных водонагревателя, пять электронагревателей (работающие в период производства измерений), две электрические печи, две посудомоечные машины, прочие ЭП. Дом находится в эксплуатации 10 лет.

На рис. 4 представлена диаграмма изменения коэффициента потерь в исследуемой ВЭС ИЖД. Как видно, K_p изменяется в широких пределах, достигая предельного значения, равного 4. А среднее за период исследования значение этого показателя составило 2,47. То есть реальные тепловые потери превышают аналогичные потери мощности и электрической энергии в 2,47 раза.

Таким образом, значительная часть дополнительных тепловых потерь обусловлена именно несимметрией фазных токов. Как установлено многолетними исследованиями, минимизацию дополнительных тепловых потерь мощности рекомендуется осуществлять с помощью специальных симметрирующих устройств (СУ), конструкция, расчет и выбор параметров которых подробно рассмотрены в работах [3, 6–13].

Для приведенного примера (рис. 4) при включении СУ в электрической сети дома коэффициент K_p резко уменьшается и его среднее за период значение становится равным 1,017.

То есть эффект симметрирования приводит к снижению тепловых потерь, обусловленных несимметрией токов, в 2,43 раза.

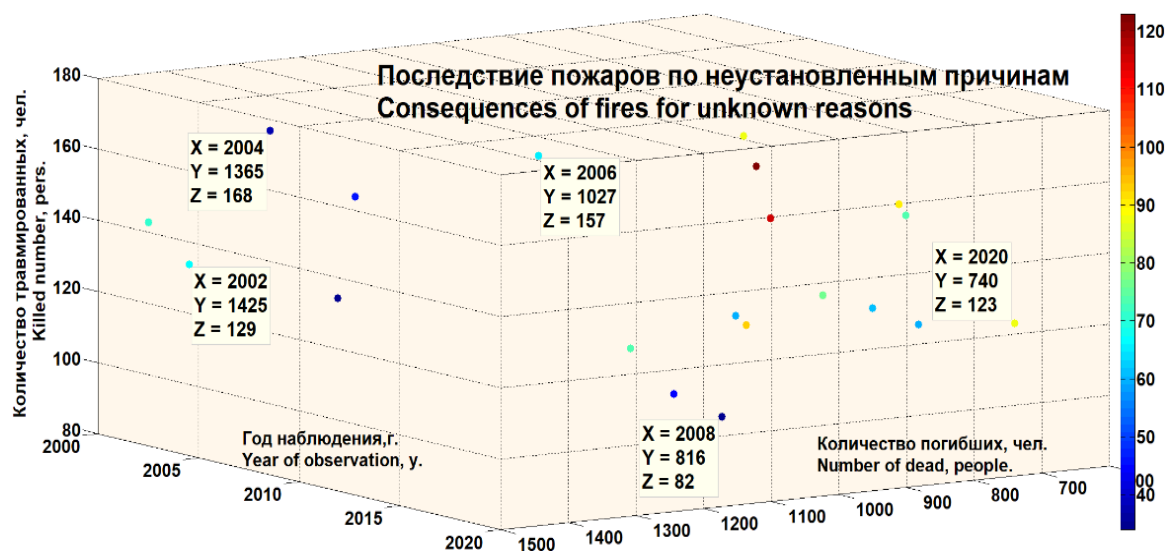


Рис. 3. Динамика последствий пожаров по неустановленным причинам в мире за 2000–2020 гг.
Fig. 3. Dynamics of the fire consequences for unknown reasons in the world for 2000-2020

Безусловно, не каждый домовладелец при строительстве жилого дома может использовать симметрирующее устройство, тем более что промышленными предприятиями они не выпускаются и рассчитываются индивидуально для каждого ИЖД.

Тем не менее каждый домовладелец может пригласить специалиста, который имеет определенные знания в этой области и способен на

основании произведенных измерений произвести перераспределение подключения однофазных электроприемников с наиболее загруженной фазы на менее загруженную.

Такая технология в среднем способствует снижению коэффициента потерь до 30 %. И конечно, при индивидуальном строительстве следует обращать повышенное внимание на негорючие конструкционные материалы,

которые по своим физико-химическим и тепло-техническим характеристикам не уступают дереву. К основным характеристикам строительного материала следует отнести надежность, долговечность, безопасность и энергоэффективность. То есть материал, из которого построен дом, должен хорошо удерживать тепло,

снижая затраты на отопление, быть максимально пожаробезопасным, служить долго без необходимости ежегодного ремонта. Перечень видов таких материалов достаточно широк, и при тщательном мониторинге каждый индивидуальный застройщик может выбрать подходящий вариант.

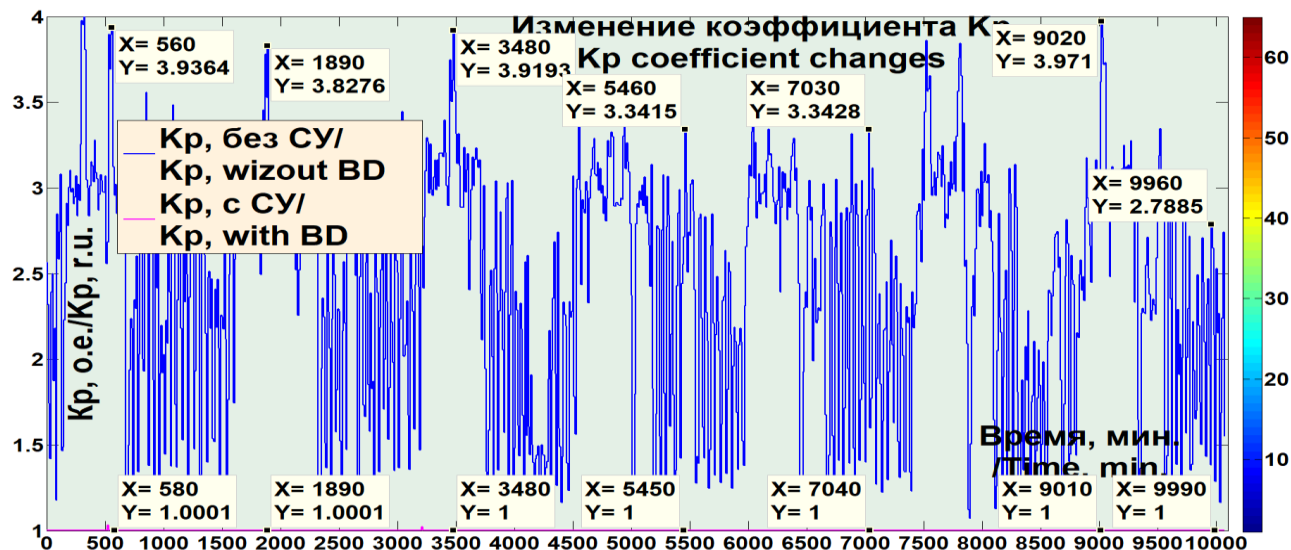


Рис. 4. Эффективность снижения тепловых потерь с помощью симметрирующих устройств
Fig. 4. Efficiency of reducing heat losses by balancing devices using

В любом случае после того, как выбран материал, из которого будет возводиться основная конструкция ИЖД, с учетом требуемых характеристик, при осуществлении монтажа внутренней электропроводки, которая составляет ВЭС дома, необходимо придерживаться следующих правил:

1. Тщательно продумать количество, расположение и мощность основных потребителей электрической энергии, которые предполагается размещать в ИЖД.

2. Соответственно выбранному составу потребителей необходимо определить количество осветительных и розеточных групп, которые будут располагаться в доме, а также количество и месторасположение распределительных коробок. При этом наиболее мощные электроприемники (стиральная машина, сауна, водонагревательное и обогревательное оборудование и т.д.) должны иметь соответствующее их мощности сечение провода, а также отдельные защитно-коммутационные аппараты, располагаемые в помещении, где собирается вводно-распределительное электрооборудование.

3. Выбор пускозащитной аппаратуры необходимо производить в соответствии с ПУЭ.

4. Выбор сечения нейтрального (нулевого рабочего проводника) лучше всего

производить на ступень выше сечения фазных проводников, при этом в качестве материала проводника использовать медь.

5. Монтаж ВЭС необходимо осуществлять в специальных защитных конструкциях, предусмотренных правилами производства электромонтажных работ.

6. После осуществления монтажа ВЭС и успешного ее испытания, через некоторое время эксплуатации (2–3 мес.) произвести соответствующие измерения токов и напряжений с целью установления уровня несимметрии. При необходимости произвести установку симметрирующего устройства либо осуществить перераспределение нагрузок электроприемников по результатам измерений.

7. Все внутренние помещения дома должны быть оснащены средствами сигнализации и пожаротушения.

Заключение

На основании изложенного можно сделать следующие выводы:

1. За последние годы наблюдается существенный рост индивидуального жилищного строительства, при этом большое внимание уделяется деревянному домостроению.

2. Соответственно росту числа деревянных домостроений возрастает угроза возникновения пожаров, одной из наиболее

существенных причин которых являются короткие замыкания, вызванные несимметрией фазных токов.

3. Наиболее эффективным средством минимизации несимметричных режимов во

внутренних электрических сетях ИЖД является использование специальных симметрирующих устройств и пофазное перераспределение мощности однофазных электроприемников.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Brushlinsky N. N., Ahren M. A., Sokolov S. V., Wagner P. World Fier Statistics // CTIF. International association of fier and rescue services. Center of Fier Statistics, 2020. Vol. 25. 65 p.
2. Campbell R. Home electrical fires. NFPA Research, 2019. 17 p.
3. Наумов И. В., Карамов Д. Н. К вопросу о возникновении пожароопасных ситуаций при несимметричном электропотреблении // Надежность и безопасность энергетики. 2021. Т. 14. № 1. p. 69-76. <https://doi.org/10.24223/1999-5555-2021-14-1-69-76>.
4. Абдиева З. Э. Оценка влияния несимметрии нагрузки на потери электрической энергии в сетях 0,4 кВ // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2014. № 32-1. С. 157–159.
5. Козловская В. Б., Калечиц В. Н. Несимметричные режимы работы линий наружного освещения // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2019. № 62 (3). С. 232–246. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2019-62-3-232-246>.
6. Наумов И. В., Багаев А. А. Моделирование режимов несимметричного электропотребления в сельских распределительных электрических сетях 0,38 кВ при многоступенчатом отборе мощности // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2022. № 6 (212). С. 90–104. <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2022-212-6-90-104>.
7. Naumov I. V., Podyachikh S. V. On the choosing the installation location the balancing devices in low-voltages distribution electric networks // Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol. 2094. p. 052012. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2094/5/052012>.
8. Наумов И. В. К вопросу управления несимметричными режимами работы распределительных электрических сетей 0,38 кВ // Промышленная энергетика. 2022. № 5. С. 2–14. <https://doi.org/10.34831/EP.2022.25.51.001>.
9. Наумов И. В., Бастрон А. В. Исследование несимметричных режимов работы внутренних электрических сетей индивидуальных жилых домов в сельской местности // Вестник НГИЭИ. 2022. № 6 (133). С. 44–58. <https://doi.org/10.24412/2227-9407-2022-6-44-58>.
10. Naumov I. V., Podyachikh S. V., Bastron A. V. The Power Quality Improving and its Losses Reducing with Balancing Devices // EESTE-2021 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 979. p. 012160. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/979/1/012160>.
11. Naumov I. V., Podyachikh S. V., Tretyakov A. N. About Electric Energy Additional Losses Reduction at the Phase Currents Unbalancing in the 0.38 kV Operating Networks // EESTE-2021 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 979. p. 012137. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/979/1/012137>.
12. Naumov I. V., Podyachikh S. V., Tretyakov A. N., Sheryazov S. K., Bastron A. V. "Green technologies" elements by the individual residential building's internal electrical networks operation // ESDCA-II-2022 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 1045. p. 012153. <https://doi.org/10.1088/17551315/1045/1/012153>.
13. Naumov I. V., Podyachikh S. V., Yakupova M. A., Fedorinova E. S. Methodological Bases of the Fire Hazard Reduction in Internal and External 0.38 kV Electrical Networks with Unbalancing Power Consumption // ESDCA-II-2022 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 1045. p. 012145. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1045/1/012145>.

REFERENCES

1. Brushlinsky NN, Ahren MA, Sokolov SV, Wagner P. World Fier Statistics. CTIF. International association of fier and rescue services. 2020;25:65 p.
2. Campbell R. Home electrical fires. NFPA Research, 2019. 17 p.
3. Naumov IV, Karamov DA. On the issue of occurrence of fire-hazardous situations with unbalanced power consumption. *Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Safety and Reliability of Power Industry*. 2021;14(1):69-76. (In Russ.). <https://doi.org/10.24223/1999-5555-2021-14-1-69-76>.
4. Abdieva ZE. Estimation of influence of unsymmetry of loading on the losses of electric energy in

the networks of 0,4kv. *Izvestiya Kyrgyzskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. I. Razzakova*. 2014;32-1:157-159. (In Russ.).

5. Kozlovskaya VB, Kalechits VN. Asymmetrical modes of outdoor lighting lines. *Energetika. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii i energeticheskikh ob"edinenii SNG = Energetika. Proceedings of CIS higher education institutions and power engineering associations*. 2019;62(3):232-246. (In Russ.). <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2019-62-3-232-246>.

6. Naumov IV, Bagaev AA. Unbalanced power consumption modes modeling in rural distribution 0.38 kv electric networks with multi-stage power take-off. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altai state agricultural university*. 2022;6(212):90-104. (In Russ.). <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2022-212-6-90-104>.

7. Naumov IV, Podyachikh SV. On the choosing the installation location the balancing devices in low-voltages distribution electric networks. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021;2094:052012. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2094/5/052012>.

8. Naumov IV. On the control of asymmetric operation modes of 0.38-kv distribution electrical networks. *Promyshlennaya energetika*. 2022;5:2-14. (In Russ.). <https://doi.org/10.34831/EP.2022.25.51.001>.

9. Naumov IV, Bastron AV. Investigation of asymmetric modes of operation of internal electrical

networks of individual residential buildings in rural areas. *Vestnik NGIEI = Bulletin of the NGIEI*. 2022;6(133):44-58. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/2227-9407-2022-6-44-58>.

10. Naumov IV, Podyachikh SV, Bastron AV. The Power Quality Improving and its Losses Reducing with Balancing Devices. *EESTE-2021 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2022;979:012160. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/979/1/012160>.

11. Naumov IV, Podyachikh SV, Tretyakov AN. About Electric Energy Additional Losses Reduction at the Phase Currents Unbalancing in the 0.38 kV Operating Networks. *EESTE-2021 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2022;979:012137. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/979/1/012137>.

12. Naumov IV, Podyachikh SV, Tretyakov AN, Sheryazov SK, Bastron AV. "Green technologies" elements by the individual residential building's internal electrical networks operation. *ESDCA-II-2022 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2022;1045:012153. <https://doi.org/10.1088/17551315/1045/1/012153>.

13. Naumov IV, Podyachikh SV, Yakupova MA, Fedorinova ES. Methodological Bases of the Fire Hazard Reduction in Internal and External 0.38 kV Electrical Networks with Unbalancing Power Consumption. *ESDCA-II-2022 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2022;1045:012145. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1045/1/012145>.

Информация об авторе

И. В. Наумов,
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры электроснабжения и
электротехники,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
Иркутский государственный аграрный
университет имени А. А. Ежевского,
664038, Иркутский р-н, пос. Молодежный, 1/1,
Россия,
e-mail: professornaumov@list.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4767-0127>

Information about the author

Igor V. Naumov,
Dr. Sci. (Eng.), Professor, Professor of the
Department of Power Supply and Electrical
Engineering,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,
Irkutsk State Agrarian University named after
A. A. Yezhevsky,
1/1 Molodezhnyy settlement, Irkutsk district,
664038, Russia,
e-mail: professornaumov@list.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4767-0127>

Вклад автора

Наумов И. В. провел исследование, подгото-
вил статью к публикации и несет ответствен-
ность за плагиат.

Contribution of the author

Naumov I. V. has conducted the study, prepared
the article for publication and bears the responsi-
bility for plagiarism.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Статья поступила в редакцию 05.08.2022.
Одобрена после рецензирования 26.08.2022.
Принята к публикации 29.08.2022.

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.

The article was submitted 05.08.2022.
Approved after reviewing 26.08.2022.
Accepted for publication 29.08.2022.

**Усталостная долговечность изгибаемых железобетонных элементов со смешанным армированием****© Борис Израилевич Пинус¹, Инна Геннадьевна Корнеева¹,
Валентина Доржеевна Балхеева²**¹Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия²Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, г. Улан-Удэ, РоссияАвтор, ответственный за переписку: Корнеева Инна Геннадьевна, kornee-inna@yandex.ru

Аннотация. Цель – экспериментально-вероятностный анализ изменений несущей способности изгибаемых железобетонных элементов с матрицами, фиброармированными полипропиленовыми волокнами. Численный эксперимент проведен с использованием нормативной методики многозвенного и послойного моделирования сечений элементов и экспериментальных диаграмм « $\sigma - \varepsilon$ » фиброкомпозиов в исходном и постциклическом (50 циклов с амплитудой $\eta = 0,8$ и нулевой асимметрией) состояниях. Вероятностные изменения несущей способности изгибаемых элементов, подвергнутых циклическим нагрузкам, оценивались численным моделированием прочности балок прямоугольного сечения ($b \times h = 100 \times 200$ мм) с односторонним армированием (класс A400) различной интенсивности. Установлена высокая усталостная долговечность фиброармированных железобетонных элементов, обусловленная наличием компенсационных механизмов структурных изменений – снижению прочности сопутствует повышение способности к перераспределению внутренних усилий. Постциклическое снижение прочности бетона практически не сказывается на несущей способности изгибаемых элементов с большим и экономически предпочтительным диапазоном их конструктивного армирования. Проанализирована кинетика надежности элементов, оцениваемая уровнем реализуемого потенциала прочности бетона. Подтверждается, что при умеренном ($\mu \leq \mu_R$) армировании имеются объективные условия повышения полноты эпюры напряжений в сжатой части сечения за счет перераспределения усилий по высоте. Благодаря этому практически не изменяется после циклических воздействий несущая способность элементов при армировании $\mu \leq 2,5$ %, несмотря на существенное снижение прочности бетона.

Ключевые слова: фибробетон, прочность, усталость, изгибаемые элементы

Для цитирования: Пинус Б. И., Корнеева И. Г., Балхеева В. Д. Усталостная долговечность изгибаемых железобетонных элементов со смешанным армированием // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 3. С. 362–367. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-3-362-367>.

Original article**Fatigue life of bending reinforced concrete elements with fibre-reinforced matrices****Boris I. Pinus¹, Inna G. Korneeva¹, Valentina D. Balheeva²**¹Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia²East Siberian State University of Technology and Management, Ulan-Ude, RussiaCorresponding author: Inna G. Korneeva, kornee-inna@yandex.ru

Abstract. An experimental-probabilistic analysis of variations in the load-bearing capacity of bending reinforced concrete elements with matrices reinforced by polypropylene fibres was carried out. A numerical experiment was conducted using the normative methodology of multi-link and layerwise modelling of element cross-sections and experimental " $\sigma - \varepsilon$ " diagrams of fibrocomposites in initial and post-cyclic (50 cycles with $\eta = 0.8$ amplitude and zero asymmetry) states. Probabilistic changes in the load-bearing capacity of bending elements subjected to cyclic loads were estimated by the numerical strength modelling of rectangular beams ($b \times h = 100 \times 200$ mm) with the one-sided reinforcement (A400 class) of varying intensity. The observed high value of fatigue life of reinforced concrete elements with fibre-

reinforced matrices was found to be associated with the presence of mechanisms compensatory for structural changes, i.e., a decrease in the strength is accompanied by an increase in the ability to redistribute internal forces. A post-cyclic reduction in the strength of concrete causes practically no effect on the load-bearing capacity of bending elements with a large and economically preferable range of their structural reinforcement. The reliability kinetics of elements, estimated by the level of the realised concrete strength potential, was analysed. Moderate ($\mu \leq \mu_R$) reinforcement was found to result in objective conditions for increasing the completeness of the stress diagram in the compressed cross-sectional part due to the redistribution of forces along the height. In this case, despite a significant decrease in the strength of concrete, the load-bearing capacity of elements at $\mu \leq 2.5\%$ reinforcement remains practically the same after cyclic effects.

Keywords: fiber-reinforced concrete, strength, fatigue, bendable elements

For citation: Pinus B. I., Korneeva I. G., Balheeva V. D. Fatigue life of bending reinforced concrete elements with fibre-reinforced matrices. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(3):362-367. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-3-362-367>.

Введение

Одним из факторов структурной трансформации цементных композитов являются нестационарные механические и температурно-влажностные воздействия с амплитудой ниже нормативно регламентируемого уровня. Иницируемые ими отклики представляют собой затухающие колебательные процессы с последствиями¹ [1–5], кинетика которых определяется скоростью развития трещин до критического уровня [6–9]. Эффективное и технологически доступное торможение усталостной деградации достигается посредством объемного мелкодисперсного армирования композитов волокнами с оптимальными геометрическими (аспектным соотношением диаметра и длины) и механическими параметрами. Неоднозначность и разнонаправленность сопутствующих изменений прочностных, деформативных и энергетических параметров внутреннего сопротивления [10–17] предопределяют необходимость проверки соответствия конструктивных элементов требованиям критериев их эксплуатационной пригодности. Анализ усталостных изменений прочности изгибаемых железобетонных элементов с цементными матрицами, модифицированными полипропиленовыми (ПП) волокнами ($d_{f экв.} = 0,8$ мм и $l_f = 40$ мм), составляет основное содержание настоящей работы.

Методика исследования

Вероятностный прогноз несущей способности выполнен численным моделированием с использованием нормативных функцио-

нальных критериальных зависимостей и экспериментальных, статистически представительных данных кинетики при циклических воздействиях (ЦВ) значимых параметров внутреннего сопротивления фиброкомпозита (Ц:П:Щ:В = 1:1,42:3,57:0,5 и $\mu_f = 1,5$ % объема). Использована нормативная методика многослойного моделирования сечений элементов, при которой величина расчетного усилия определяется (СП 63.13330.2012, пп. 8.1.20–8.1.30) как сумма

$$M = \sum \sigma_{bi}(\varepsilon_i) \cdot A_{bi} \cdot Z_{bxi} + \sum \sigma_{sj}(\varepsilon_j) \cdot A_{sj} \cdot Z_{sxj}, \quad (1)$$
где напряжения i (j) слоя сечения определяются его фактической деформацией.

При этом в качестве критериального условия разрушения принимается достижение крайними сжатыми волокнами сечения предельной деформации $\varepsilon_{b,ult}$, соответствующей напряжению $0,8\sigma_u$ на постпиковом участке диаграммы « $\sigma - \varepsilon$ ». Расчетная деформационная модель представлена на рис. 1, а ее параметры в исходном (серия «ИС») и постциклическом (серия «ПЦ») состояниях – в табл. 1.

Результаты и их обсуждение

Вероятностные изменения несущей способности изгибаемых элементов, подвергнутых циклическим нагружениям, оценивались численным моделированием прочности балок прямоугольного сечения ($b \times h = 100 \times 200$ мм) с односторонним армированием (класс А400) различной интенсивности (рис. 2). Примечательно, что существенное (18 %) постциклическое снижение прочности бетона практически не сказывается на несущей способности

¹ГОСТ Р 2394-2016. Конструкции строительные. Основные принципы надежности. М.: Стандартинформ, 2016. 72 с.;

Корчинский И. Л., Беченева Г. В. Прочность строительных материалов при динамических нагружениях: пособие для проектировщиков. М.: Стройиздат, 1966. 212 с.

изгибаемых элементов с большим и экономически предпочтительным диапазоном их конструктивного армирования. Если учесть, что используемый здесь метод не содержит нормативных критериев типа «граничная высота сжатой зоны», можно предполагать наличие компенсирующих (снижение R_b) механизмов

перераспределения внутренних усилий. С целью их установления были определены параметры высоты и площади сжатой зоны, произведен расчет реализуемой прочности бетона при действии усилия, тождественного M_{ult} (табл. 2), и выявлено их относительное изменение с увеличением μ .

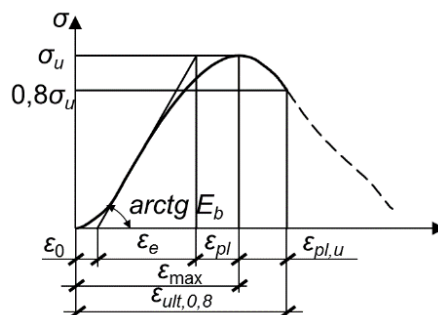


Рис. 1. Деформационная модель
Fig. 1. Deformation model

Таблица 1. Расчетные значения параметров нелинейной деформационной модели
Table 1. Calculated values of parameters of the nonlinear deformation model

Этап испытания	Индекс этапа	Прочностные, МПа				Деформации, ‰		
		R_b	σ_b	E_b	$E_{b,1}$	ε_{b1}	ε_{b2}	ε_{b0}
Исходный	«ИС»	32,6	19,6	17190	14610	1,14	2,34	1,91
После ЦВ*)	«ПЦ»	26,8	16,1	23390	19880	0,69	1,68	1,32

*) 50 циклов с амплитудой $\eta = 0,8$ и нулевой асимметрией.

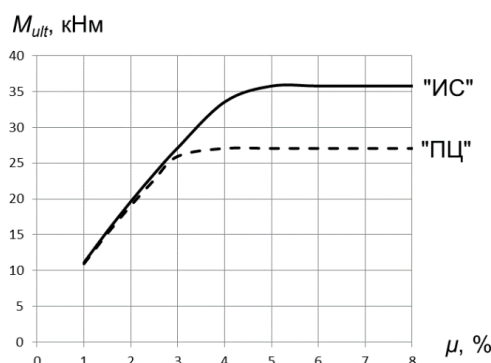


Рис. 2. Зависимость прочности изгибаемых элементов от уровня армирования
Fig. 2. Dependence of the strength of the bent elements on the level of reinforcement

Примечательно, что кинетика параметров, определяющих сопротивление сжатой зоны сечения элементов, неоднозначна. Практически одинаковое и сравнительно большее возрастание A_c и M_{ult} происходит при незначительных изменениях высоты сжатой зоны.

Это позволяет предполагать увеличение полноты эпюры напряжений сжатой зоны с повышением армирования. Для проверки этого предположения выполнен численный эксперимент с решением обратной задачи – определение среднего значения реализуемой прочности бетона R_{bi} при действии внешних усилий, равных $M_{i,ult}$. Его кинетика (табл. 2, 3) характе-

ризуется плавным возрастанием с явной тенденцией снижения прироста с увеличением μ . Она закономерна и обусловлена сопутствующим повышением вероятности хрупкого разрушения элемента с раздроблением сжатой зоны [8, 9]. Таким образом, подтверждается, что при умеренном ($\mu \leq \mu_R$) армировании имеются объективные условия повышения полноты эпюры напряжений в сжатой части сечения за счет перераспределения усилий по высоте. Благодаря этому практически не изменяется после «ЦВ» несущая способность элементов при армировании $\mu \leq 2,5$ %, несмотря на существенное снижение прочности бетона.

Таблица 2. Изменение параметров сжатой зоны изгибаемых элементов при циклических воздействиях

Table 2. Changing the parameters of the compressed zone of the bent elements at cyclic effects

Про- цент армиро- вания μ , %	Исходное состояние				Постциклическое состояние			
	Высота сжатой части x , см	Пло- щадь эпюры A_c , МПа*см	Пре- дельный момент M_{ult} , кНм	Реализа- ция прочно- сти бетона R_b , МПа	Высота сжатой части x , см	Пло- щадь эпюры A_c , МПа*см	Пре- дельный момент M_{ult} , кНм	Реализа- ция прочности бетона R_b , МПа
1	7,42	73,6	11,1	11,2	6,74	77,8	10,9	11,8
1,5	8,24	109,0	15,3	14,4	7,52	103,4	14,9	15,0
2	8,94	139,7	19,4	17,3	8,37	135,5	19,1	17,8
2,5	9,52	167,5	23,3	19,9	9,11	159,9	22,1	19,6
3	10,1	196,7	26,9	22,2	10,4	176,9	22,6	20,8

Таблица 3. Влияние армирования на кинетику показателей прочности

Table 3. Effect of reinforcement on the kinetics of strength indicators

Процент армирования	Исходное состояние				Постциклическое состояние			
	$\frac{x_{i+1}}{x_i}$	$\frac{A_{ci+1}}{A_{ci}}$	$\frac{M_{i+1}}{M_i}$	$\frac{\bar{R}_{bi}}{R_{b_u}}$	$\frac{x_{i+1}}{x_i}$	$\frac{A_{ci+1}}{A_{ci}}$	$\frac{M_{i+1}}{M_i}$	$\frac{\bar{R}_{bi}}{R_{b_u}}$
1	1	1	1	0,34	1	1	1	0,44
1,5	1,11	1,39	1,38	0,44	1,11	1,41	1,37	0,56
2	1,08	1,28	1,27	0,53	1,11	1,31	1,28	0,66
2,5	1,07	1,20	1,20	0,61	1,09	1,18	1,16	0,73
3	1,06	1,17	1,15	0,68	1,14	1,10	1,03	0,78

Вероятно 15–30 % увеличение потенциала его внутреннего сопротивления сжатию, реализуемого при действии расчетных предельных усилий, с высоким уровнем обеспеченности.

Заключение

Таким образом, исследование показало, что:

1. Циклические механические воздействия переменной амплитуды, асимметрии и продолжительности ведут к усталостной трансформации структуры железобетонных элементов,

последствия данных воздействий должны оцениваться комплексным учетом инициируемых изменений прочностных и деформативных свойств матриц и уровня конструктивного армирования.

2. Объемное дисперсное армирование цементных композитов полипропиленовыми фиброволокнами способствует повышению их усталостной долговечности вследствие увеличения способности к перераспределению внутренних усилий.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Новое о прочности железобетона / под ред. К. В. Михайлова. М.: Стройиздат, 1977. 272 с.
2. Москвитин В. В. Циклическое нагружение элементов конструкций. М.: Наука, 1981. 344 с.
3. Расторгуев Б. С., Цепелев С. В. Перераспределение усилий в железобетонных конструкциях при малоцикловых воздействиях // Бетон и железобетон. 1989. № 10. С. 16–18.
4. 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.
5. Беченева Г. В. Прочность бетона при немногочисленных повторных нагружениях //

- Исследования по сейсмостойкости зданий и сооружений. Труды ЦНИИСК. 1961. Вып. 6. С. 91–118.
6. 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.
7. Яшин А. В. Некоторые данные о деформациях и структурных изменениях бетона при осевом сжатии // Новое о прочности железобетона. М.: Стройиздат, 1977. С. 17–30.
8. Корчинский И. Л. Несущая способность материалов при немногочисленных повторных нагружениях // Методы расчёта зданий и сооружений на сейсмостойкость: сб. статей / под ред.

И. И. Гольденבלата и В. А. Быховского. М., 1958. С. 97–107.

9. 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.

10. Isojeh B., El-Zeghayar M., Vecchio F. J. Concrete damage under fatigue loading in uniaxial compression // *Aci Materials Journal*. 2017. Vol. 114 (2). p. 225-235. <https://doi.org/10.14359/51689477>.

11. Gao L., Hsu T. C. C. Fatigue of concrete under uniaxial compression cyclic loading // *ACI Materials Journal*. 1998. Vol. 95 (5). p. 575-581.

12. Рабинович Ф. Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов: вопросы теории и проектирования, технология, конструкции. М.: ACB, 2004. 560 с.

13. Huang B., Li Q., Xu S., Zhou B. Effect of loading frequency on the fatigue behavior of ultra-high

toughness cementitious composites in compression // 14th International Conference on Fracture (ICF 14), June18-23, 2017, Rhodes, Greece. Rhodes: International Congress on Fracture, 2017.

14. Liu F., Zhou J. Fatigue strain and damage analysis of concrete in reinforced concrete beams under constant amplitude fatigue loading // *Shock and Vibration*. 2016. Vol. 2016. p. 3950140. <https://doi.org/10.1155/2016/3950140>.

15. Cachim P. B., Figueiras J. A., Pereira P. A. A. Fatigue behavior of fiber-reinforced concrete in compression // *Cement and Concrete Composites*. 2002. Vol. 24 (9). p. 211-217. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(01\)00019-1](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(01)00019-1).

16. Paskova T., Meyer C. Low-cycle fatigue of plain and fiber reinforced concrete // *ACI Materials Journal*. 1997. Vol. 94 (4). p. 273-285.

17. Ramakrishnan V., Gollapudi S., Zellers R. Performance Characteristics and Fatigue of Polypropylene Fiber Reinforced Concrete // SP-105. 1987. Vol. 105. p. 159-177.

REFERENCES

1. Mikhailov KV (ed.). New on the strength of reinforced concrete. Moscow: Stroyizdat; 1977. 272 p. (In Russ.).

2. Moskvitin VV. Cyclic loading of construction elements. Moscow: Nauka; 1981. 344 p. (In Russ.).

3. Rastorguev BS, Tsepelev SV. Redistribution of efforts in reinforced concrete structures under low-cycle impacts. *Beton i zhelezobeton*. 1989;10: 16-18. (In Russ.).

4. 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*. 1992;1:71-76. (In Russ.).

5. Becheneva GV. Concrete strength under few repeated loads. *Issledovaniya po seismostoikosti zdanii i sooruzhenii. Trudy TsNIISK*. 1961;6: 91-118. (In Russ.).

6. 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.).

7. Yashin AV. Some information about the deformations and structural changes of concrete under axial compression. In: *Novoe o prochnosti zhelezobetona*. Moscow: Stroyizdat; 1977. p. 17-30. (In Russ.).

8. Korchinsky IL. Bearing capacity of materials with few repeated loadings. In: Goldenblat II, Bykhovsky VA (eds.). *Metody rascheta zdanii i sooruzhenii na seismostoikost'*: collection of articles. Moscow, 1958. p. 97-107. (In Russ.).

9. 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.).

10. Isojeh B, El-Zeghayar M, Vecchio FJ. Concrete damage under fatigue loading in uniaxial compression. *Aci Materials Journal*. 2017;114(2):225-235. <https://doi.org/10.14359/51689477>.

11. Gao L, Hsu TCC. Fatigue of concrete under uniaxial compression cyclic loading. *ACI Materials Journal*. 1998;95(5):575-581.

12. Rabinovich FN. *Composites based on dispersedly-reinforced concrete: Questions on theory and design, technology, constructions*. Moscow: ASV; 2004. 563 p. (In Russ.).

13. Huang B, Li Q, Xu S, Zhou B. Effect of loading frequency on the fatigue behavior of ultra-high toughness cementitious composites in compression. *14th International Conference on Fracture (ICF 14)*, June18-23, 2017, Rhodes, Greece. Rhodes: International Congress on Fracture; 2017.

14. Liu F, Zhou J. Fatigue strain and damage analysis of concrete in reinforced concrete beams under constant amplitude fatigue loading. *Shock and Vibration*. 2016;2016:3950140. <https://doi.org/10.1155/2016/3950140>.

15. Cachim PB, Figueiras JA, Pereira PAA. Fatigue behavior of fiber-reinforced concrete in compression. *Cement and Concrete Composites*. 2002;24(9):211-217. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(01\)00019-1](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(01)00019-1).

16. Paskova T, Meyer C. Low-cycle fatigue of plain and fiber reinforced concrete. *ACI Materials Journal*. 1997;94(4):273-285.

17. Ramakrishnan V, Gollapudi S, Zellers R. Performance Characteristics and Fatigue of Polypropylene Fiber Reinforced Concrete. *SP-105*. 1987;105:159-177.

Информация об авторах

Б. И. Пинус,

доктор технических наук, профессор,
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,

кандидат технических наук, 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>

В. Д. Балхеева,

кандидат технических наук, доцент
кафедры промышленного и гражданского
строительства,
Восточно-Сибирский государственный
университет технологий и управления,
670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В,
стр. 1, Россия,
e-mail: zua1759@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-6389-1435>

Information about the authors

Boris I. Pinus,

Dr. Sci. (Eng.), Professor, 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,

Cand. Sci. (Eng.), 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>

Valentina D. Balheeva,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the
Department of Industrial and Civil Engineering,
East Siberian State University of Technology and
Management,
building 1, 40V Klyuchevskaya St., Ulan-Ude,
670013, Russia,
e-mail: zua1759@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-6389-1435>

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Пинус Б. И. несет ответственность за плагиат.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article. Pinus B. I. bears the responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

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

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

Статья поступила в редакцию 29.06.2022.
Одобрена после рецензирования 15.07.2022.
Принята к публикации 19.07.2022.

The article was submitted 29.06.2022.
Approved after reviewing 15.07.2022.
Accepted for publication 19.07.2022.



Анализ изменений эпюры скоростей в самотечных сетях водоотведения с разной толщиной слоя отложений в лотковой части труб

© Олег Александрович Продоус¹, Дмитрий Иванович Шлычков²,
Анна Александровна Малышева²

¹ООО «ИНКО-эксперт», г. Санкт-Петербург, Россия

²Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,
г. Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Шлычков Дмитрий Иванович, ShlyichkovDI@mgsu.ru

Аннотация. Практикой эксплуатации самотечных сетей водоотведения бытовых сточных вод установлено, что при определенных скоростях самотечного потока в лотковой части труб образуется осадок, влияющий на значения величин гидравлических характеристик потока, зависящих от фактической толщины слоя осадка в трубах. Целью исследования является установление эпюры распределения фактических значений скоростей течения сточной жидкости на вертикалях смоченного потока периметра труб с отложениями в их лотковой части. В работе используются расчетные зависимости, выведенные авторами для гидравлического расчета сетей водоотведения с внутренними отложениями. В результате исследования подтверждено на конкретном примере, что для бетонных труб диаметром 400 мм предельное значение толщины слоя осадка, препятствующее продолжению дальнейшей эксплуатации, составляет 0,08 м (80 мм). Показано, что с помощью графика распределения скоростей течения потока сточной жидкости по вертикалям можно определять уровень фактического наполнения в трубах, соответствующий конкретной толщине слоя осадка в них.

Ключевые слова: сети водоотведения, слой осадка, гидравлический расчет, эпюры распределения скоростей по сечению, внутренние отложения

Для цитирования: Продоус О. А., Шлычков Д. И., Малышева А. А. Анализ изменений эпюры скоростей в самотечных сетях водоотведения с разной толщиной слоя отложений в лотковой части труб // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 3. С. 368–373. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-3-368-373>.

Original article

Analysis of changes in the velocity diagram of gravity sewer networks with different thickness of sediment layer in the chute section of pipes

Oleg A. Prodous¹, Dmitry I. Shlyichkov², Anna A. Malysheva²

¹LLC "INCO-expert", Saint Petersburg, Russia

²Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russia

Corresponding author: Dmitry I. Shlyichkov, ShlyichkovDI@mgsu.ru

Abstract. The practice of operation of gravity sewer networks of domestic wastewater shows that sediment deposits are formed in the chute section of pipes at certain velocities of the gravity flow. These deposits affect the hydraulic characteristics of the flow, which depend on the actual thickness of the sediment layer in sewer pipes. In this study, a velocity diagram reflecting the distribution of actual velocity values of wastewater flow along the depth of the wetted perimeter of pipes with sediment deposits in their chute sections is established. To this end, the dependences derived by the authors previously for hydraulic calculation of drainage networks with internal sediments were used. It is confirmed on a specific example that the limiting value of sediment thickness preventing the continuation of further operation for concrete pipes with a diameter of 400 mm equals 80 mm. The obtained diagram of the vertical velocity distribution of sewage flow can be used to determine the actual pipeline fill level corresponding to the actual sediment layer thickness in sewer pipes.

Keywords: water disposal networks, sediment stratum, hydraulic analysis, plots of the velocity distribution over the cross section, internal deposits

For citation: Prodous O. A., Shlyichkov D. I., Malysheva A. A. Analysis of changes in the velocity diagram of gravity sewer networks with different thickness of sediment layer in the chute section of pipes. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(3):368-373. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-3-368-373>.

Введение

Введем понятие: эпюры скоростей в самотечной сети водоотведения – это график, характеризующий распределение скоростей течения жидкости на вертикалях смоченного потока периметра трубы. Авторами статьи установлено, что фактическая величина уровня наполнения труб H_{ϕ} , имеющих слой отложений осадка h в их лотковой части (рис. 1), является суммой значений [1]:

$$H_{\phi} = H_n + h, \text{ м} \quad (1)$$

где H_n – рекомендованный СП 32.13330.2012 уровень нормативного наполнения труб, м; h – толщина слоя осадка в лотковой части, м.

Из формулы (1) следует, что чем больше значение h , тем больше значение H_{ϕ} [2].

Покажем на примере изменение значений H_{ϕ} и $V_{\text{пр}}$ при разной толщине слоя осадка h в лотковой части труб.

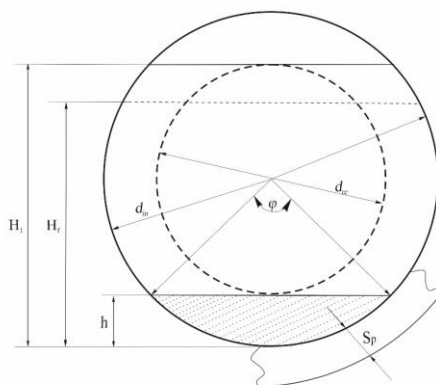


Рис. 1. Изменение фактического уровня наполнения H_{ϕ} в зависимости от толщины слоя осадка h
Fig. 1. Change in the actual level of replenishment H_{ϕ} depending on the thickness of the sediment layer h

В таблице приведены значения характеристик потока для условий следующей задачи.

Условия задачи

По бетонной трубе диаметром 400 мм (0,4 м) перемещается самотечный поток бытовых сточных вод $q = 150$ л/с (0,15 м³/с). Толщина слоя осадка в лотковой части $h = 100$ мм (0,1 м).

Рассчитать значения гидравлических характеристик потока, провести их анализ и построить эпюры скоростей для приведенных условий.

Решение

1. Площадь живого сечения (смоченный периметр) в трубе без отложений:

$$\omega = \frac{\pi \cdot d_{\text{вн}}^2}{4}, \text{ м}^2, \quad (2)$$

где $d_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр по ГОСТ, м.

2. Площадь живого сечения в трубе со слоем осадка $h = 0,1$ м:

$$\omega_{\text{пр}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{вн}}^2}{4}, \text{ м}^2, \quad (3)$$

$d_{\text{пр}}$ – приведенный диаметр трубы, м, определяется по формуле (рис. 1) [1]:

$$d_{\text{пр}} = \sqrt{d_n^2 - (d_{\text{вн}} - h)^2}, \text{ м}, \quad (4)$$

где d_n – наружный диаметр бетонной трубы по ГОСТ, м; $d_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр трубы, м;

$$d_{\text{вн}} = d_n - 2S_p, \text{ м}, \quad (5)$$

где S_p – толщина стенки трубы по ГОСТ, м.

Площадь живого сечения $\omega_{\text{пр}}$ всегда больше значения площади ω , так как уровень фактического наполнения труб $H_{\phi} > H$ из-за наличия слоя осадка h в их лотковой части (рис. 1) [3].

$$\begin{aligned} \omega_{\text{пр}} &> \omega, \text{ м}^2; \\ H_{\phi} &> H, \text{ м}. \end{aligned}$$

3. Приведенная скорость потока в трубе со слоем осадка h :

$$V_{\text{пр}} = \frac{4 \cdot q}{\pi \cdot (d_{\text{пр}})^2}, \text{ м/с}. \quad (6)$$

4. Приведенный гидравлический уклон $i_{\text{пр}}$, м/м [2]:

$$i_{\text{пр}} = \frac{4 \cdot V_{\text{пр}}^2}{C^2 \cdot d_{\text{пр}}}, \text{ м/м}, \quad (7)$$

где C – коэффициент А. Шези, определяемый по формуле, уточненной акад. Н. Н. Павловским [1, 2]:

$$C = \frac{R_{\text{пр}}^{1/6}}{n}. \quad (8)$$

По данным таблицы на рис. 2 показано изменение профиля эпюры скоростей в бетонной трубе диаметром 400 мм.

По данным таблицы на рис. 3 построен график зависимости $i_{\text{пр}} = f(V_{\text{пр}})$, свидетельствующий об изменении значений гидравлического

уклона $i_{\text{пр}}$ в трубах с разной толщиной слоя осадка h в их лотковой части и влияющий на распределение скоростей потока на вертикалях смоченного периметра (эпюры скоростей) [4].

При этом фактические значения гидравлического уклона $i_{\text{пр}}$ изменяются в диапазоне значений от $i_{\text{пр}} = 0,00765$ м/м ($h = 0,05$ м) до $i_{\text{пр}} = 0,00538$ м/м ($h = 0,08$ м), то есть на 29,67 %, или в 1,42 раза, а приведенные скорости $V_{\text{пр}}$ (см. таблицу) на 12,32 %, или в 1,14 раза.

Изменение значений гидравлических параметров труб при разной толщине слоя осадка h
Changing the values of hydraulic parameters of pipes with different thickness of the sediment layer h

Толщина слоя осадка h , м	Уровень фактического наполнения труб $H_{\text{ф}}$, м	Приведенный диаметр труб, $d_{\text{пр}}$, м	Приведенная скорость $V_{\text{пр}}$, м/с	Коэффициент А. Шези $C_{\text{пр}}$	Фактический гидравлический уклон $i_{\text{пр}}$, м/м
0	0,280	0,318	1,89	51,27	0,01709
0,05	0,330	0,372	1,38	51,74	0,00765
0,06	0,340	0,381	1,32	51,95	0,00678
0,07	0,350	0,390	1,26	52,15	0,00599
0,08	0,360	0,398	1,21	52,32	0,00538
0,09	0,370	Нерасчетные, так как труба работает полным сечением (СП 32.13330.2012)			

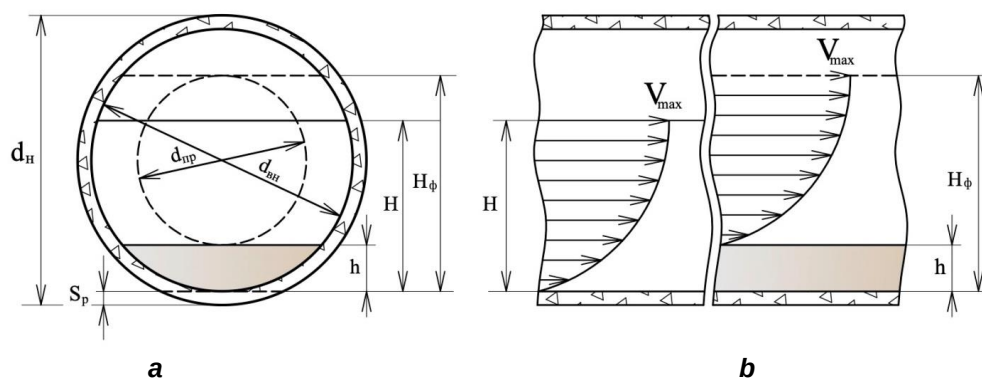


Рис. 2. Изменение профиля эпюры скоростей: а – в трубе без слоя осадка; б – с толщиной слоя осадка h

Fig. 2. Changing the velocity plot profile: а – in a pipe without a sediment layer; б – with a sediment layer thickness h

График, приведенный на рис. 3, подтверждает существование зависимости $i_{\text{пр}} = f(V_{\text{пр}})$ для труб с отложениями в их лотковой части, то есть свидетельствует об изменении эпюры распределения скоростей потока на вертикалях их смоченного периметра [5–7].

Заключение

Анализ изменения эпюры скоростей в новой бетонной трубе и трубе с отложениями в их

лотковой части для приведенного примера позволяет сделать следующие выводы:

- Изменение толщины слоя осадка h в лотковой части труб вызывает изменение скоростного режима потока, характеризуемого значениями приведенных скоростей $V_{\text{пр}}$, зависящих от толщины слоя осадка h [8, 9].

- При толщине слоя осадка $h = 0,05$ м (см. таблицу) приведенная скорость потока

$V_{пр} = 1,38$ м/с, а при $h = 0,08$ м она составляет $V_{пр} = 1,21$ м/с. То есть в диапазоне значений $h = 0,05 \div 0,08$ м $V_{пр}$ изменяется на 12,32 %, или в 1,14 раза. Это также свидетельствует об изменении эпюры распределения скоростей на вертикалях смоченного периметра трубы (рис. 2) [10, 11].

• Уровень фактического наполнения труб $H_{ф}$ также зависит от толщины слоя осадка h и для приведенного примера изменяется в диапазоне значений от $H_{ф} = 0,330$ м (при $h = 0,05$ м) до

$H_{ф} = 0,360$ м (при $h = 0,08$ м), то есть изменяется на 37,5 %, или в 1,6 раза.

• При толщине слоя осадка $h = 0,09$ м ($H_{ф} = 0,370$ м) дальнейшая эксплуатация сети водоотведения недопустима, так как трубы уже работают полным сечением, что нарушает требования СП 32.13330.2012, так как степень их фактического наполнения $\frac{H_{ф}}{d_{пр}} = 0,9$ превышает нормативную $\frac{H}{d_{вн}} = 0,7$ [12, 13].

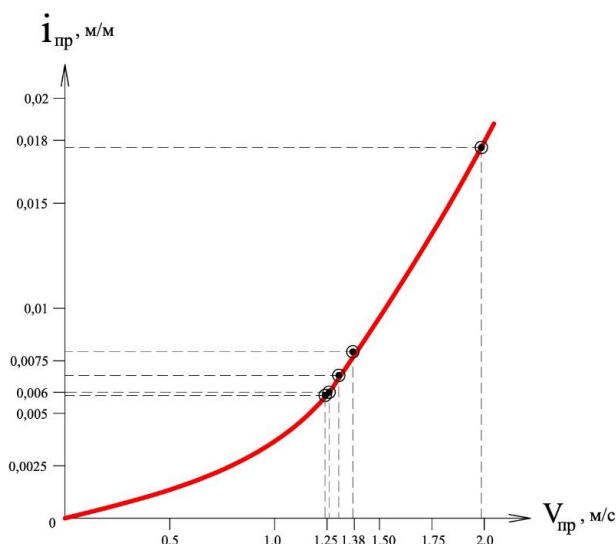


Рис. 3. График зависимости $i_{пр} = f(V_{пр})$
Fig. 3. Graph of dependence $i_{пр} = f(V_{пр})$

Таким образом, нормативная степень наполнения труб диаметром 400 мм $\frac{H}{d_{вн}} = 0,7$ не может быть больше значения $\frac{H_{ф}}{d_{пр}} = 0,9$. Поэтому для труб диаметром 400 мм она не должна превышать значения нормативной степени наполнения труб в диапазоне значений [14]:

$$0,7 \leq \frac{H_{ф}}{d_{пр}} \leq 0,9.$$

То есть фактическая степень наполнения труб с отложениями в их лотковой части может изменяться лишь на величину значения в 12,9 %, или в 1,29 раза.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Продоус О. А., Шлычков Д. И., Абросимова И. А. Обоснование необходимости проведения гидродинамической очистки самотечных сетей водоотведения // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. № 1. С. 106–114. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2022.1.106-114>.
2. Шлычков Д. И. Уточненная формула А. Шези для гидравлического расчета самотечных сетей водоотведения с отложениями в лотковой части труб // Сборник докладов участников интеллектуального марафона в области водоснабжения и водоотведения среди молодых ученых, аспирантов и студентов (г. Москва, 09 сентября 2021 г.). М., 2021. С. 56–60.
3. Продоус О. А., Шлычков Д. И., Абросимова И. А. Допустимый уровень наполнения в трубах самотечных сетей водоотведения с внутренними отложениями // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 8. С. 1064–1072. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2022.8.1064-1072>.
4. Prodous O. A., Shlychkov D. I. Recommended dependence for hydraulic calculation of gravity drainage networks in order to improve the ecological well-being of cities // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (EES). 2021. Vol. 937. p. 042021. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/937/4/042021>.
5. Чупин Р. В. Оптимизация развивающихся систем водоотведения: монография. Иркутск:

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2015. 417 с.

6. Абрамович И. А. Повышение достоверности расчета сетей водоотведения // Водоснабжение и санитарная техника. 1985. № 3. С. 4–5.

7. Добромислов А. Я. Гидравлический расчет безнапорных трубопроводов // Трубопроводы и экология. 2000. № 2. С. 21–24.

8. Продоус О. А., Шлычков Д. И., Пархоменко С. В. Необходимость разработки таблиц для гидравлического расчета самотечных сетей водоотведения с отложениями в лотковой части труб // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и Архитектура. 2022. № 2 (87). С. 107–114.

9. Яковлев С. В., Калицун В. И. Самоочищение канализационной сети // Водоснабжение и санитарная техника. 1970. № 7. С. 4–7.

10. Чупин В. Р., Мелехов Е. С., Чупин Р. В. Развитие методики гидравлических расчетов систем водоотведения // Вода и экология: проблемы и решения. 2010. № 1-2. С. 48–58.

11. Продоус О. А., Якубчик П. П., Шлычков Д. И. Зависимость энергопотребления насосных агрегатов напорных коллекторов водоотведения от толщины слоя осадка на внутренней поверхности труб // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2022. № 5 (254). С. 28–30.

12. Продоус О. А., Шлычков Д. И. Механизм образования слоя отложений в лотковой части труб самотечных сетей водоотведения // Известия вузов. Строительство. № 6 (750). 2021. С. 95–100.

13. Калинин А. В. Влияние отложений загрязнений в коллекторе водоотведения на изменение формы эпюры // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2012. № 3 (7). С. 52–58.

14. Продоус О. А., Малышева А. А., Абросимова И. А., Челоненко А. Г. Особенности гидравлического расчета самотечных сетей водоотведения с внутренними отложениями // Вестник ТГАСУ. 2022. Т. 24. № 3. С. 173–179. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2022-24-3-173-179>.

REFERENCES

1. Prodous OA, Shlychikov DI, Abrosimova IA. Justification of the need for the hydrodynamic cleaning of gravity water discharge networks. *Vestnik MGSU*. 2022;17(1):106-114. (In Russ.). <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2022.1.106-114>.

2. Shlychikov DI. Refined formula by A. Chezy for hydraulic calculation of gravity sewerage networks with deposits in the tray part of pipes. *Sbornik докладов участников интеллектуального марафона в области водоснабжения и водоотведения среди молодых ученых, аспирантов и студентов* (Moscow, 09th September 2021). Moscow, 2021. p. 56-60. (In Russ.).

3. Prodous OA, Shlychikov DI, Abrosimova IA. Permissible filling level in pipes of gravity sewerage networks with internal deposits. *Vestnik MGSU*. 2022;17(8):1064-1072. (In Russ.). <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2022.8.1064-1072>.

4. Prodous OA, Shlychikov DI. Recommended dependence for hydraulic calculation of gravity drainage networks in order to improve the ecological well-being of cities. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (EES)*. 2021;937:042021. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/937/4/042021>.

5. Chupin RV. Optimization of developing water disposal systems: monograph. Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University; 2015. 418 p. (In Russ.).

6. Abramovich IA. Improving the reliability of the calculation of sewerage networks.

Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water supply and sanitary technique. 1985;3:4-5. (In Russ.).

7. Dobromyslov AY. Hydraulic calculation of non-pressure pipelines. *Truboprovody i ekologiya*. 2000;2:21-24. (In Russ.).

8. Prodous OA, Shlychikov DI, Parkhomenko SV. The need to develop tables for hydraulic calculation of gravity-flowed water drainage networks with deposit in the tray part of the pipes. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i Arkhitektura*. 2022;2(87):107-114. (In Russ.).

9. Yakovlev SV, Kalitsun VI. Self-cleaning sewer network. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 1970;7:4-7. (In Russ.).

10. Chupin VR, Melekhov ES, Chupin RV. Development of methods for hydraulic calculations of wastewater systems. *Voda i ekologiya: problemy i resheniya*. 2010;1-2:48-58. (In Russ.).

11. Prodous OA, Yakubchik PP, Shlychikov DI. Dependence of the energy consumption of pumping units of pressure sewage collectors on the thickness of the sediment layer on the inner surface of the pipes. *Santekhnika, otoplenie, konditsionirovanie*. 2022;5(254):28-30. (In Russ.).

12. Prodous OA, Shlychikov DI. The mechanism of formation of a layer of deposits in the tray part of pipes of gravity sewerage networks. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2021;6(750):95-100. (In Russ.).

13. Kalinin AV. Pollutants' concentration influence on the shape of averaged two-phase flow velocity diagram. *Vestnik SGASU. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2012;3(7):52-58. (In Russ.).
14. Prodous OA, Malysheva AA, Abrosimova IA, Chelonenko AG. Hydraulic analysis of gravity flow

water distribution with internal deposits. *Vestnik TGASU = Journal of Construction and Architecture*. 2022;24(3):173-179. (In Russ.).
<https://doi.org/10.31675/1607-1859-2022-24-3-173-179>.

Информация об авторах

О. А. Продоус,

доктор технических наук,
профессор, генеральный директор,
ООО «ИНКО-эксперт»,
190005, г. Санкт-Петербург, Московский пр.,
37/1, лит. А, Россия,
e-mail: pro@enco.su
<https://orcid.org/0000-0003-0389-3695>

Д. И. Шлычков,

кандидат технических наук, доцент кафедры
водоснабжения и водоотведения,
Национальный исследовательский
Московский государственный строительный
университет,
129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26,
Россия,
e-mail: ShlyichkovDI@mgsu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0210-2695>

А. А. Малышева,

кандидат технических наук, доцент, доцент
кафедры теплогазоснабжения и вентиляции,
Национальный исследовательский
Московский государственный строительный
университет,
129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26,
Россия,
e-mail: MalyshevaAA@mgsu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1026-9292>

Information about the authors

Oleg A. Prodous,

Dr. Sci. (Eng.), Professor, General Director,
INCO-Expert LLC,
37/1, letter A, Moskovskii Ave.,
Saint Petersburg, 190005, Russia,
e-mail: pro@enco.su
<https://orcid.org/0000-0003-0389-3695>

Dmitry I. Shlyichkov,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the
Department of Water Supply and Sanitation,
Moscow State University of Civil Engineering
(National Research University),
26 Yaroslavskoe Shosse, Moscow, 129337,
Russia,
e-mail: ShlyichkovDI@mgsu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0210-2695>

Anna A. Malysheva,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Heat
and Gas Supply and Ventilation,
Moscow State University of Civil Engineering
(National Research University),
26 Yaroslavskoe Shosse, Moscow, 129337,
Russia,
e-mail: MalyshevaAA@mgsu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1026-9292>

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Шлычков Д. И. несет ответственность за плагиат.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article. Shlyichkov D. I. bears the responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

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

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

Статья поступила в редакцию 04.08.2022.
Одобрена после рецензирования 24.08.2022.
Принята к публикации 25.08.2022.

The article was submitted 04.08.2022.
Approved after reviewing 24.08.2022.
Accepted for publication 25.08.2022.



Совершенствование процессов производства и организации работ в малоэтажном жилищном строительстве

© Яна Владимировна Скворцова¹, Ольга Андреевна Безруких²

¹ООО «Молодежный», г. Иркутск, Россия

²Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Безруких Ольга Андреевна, olga.bezrukikh11@gmail.com

Аннотация. Развитие малоэтажного жилищного строительства имеет ключевое значение для строительной отрасли и увеличения объемов жилья на территории Российской Федерации. Увеличение доли данного типа строительства является одним из главных приоритетов федеральных программ и проектов, направленных на развитие жилищной политики. Вместе с тем актуальность проблемы популяризации малоэтажного рынка жилья предопределяет необходимость оптимизации выполнения этапов строительных работ не только на операционном, но и на технологическом уровне. Цель работы заключается в актуализации методологических подходов к организации малоэтажного жилищного строительства посредством определения критических точек при производстве и организации строительных работ. В процессе исследования используются элементы метода системного анализа, а также методы эмпирического исследования. Изучены аналитические исследования и научные обобщения российских и зарубежных ученых по тематике исследования. В статье рассмотрен порядок строительных процессов при малоэтажном строительстве с детальным описанием каждого. Проведен анализ выделенных этапов, что позволило определить их критические точки и обозначить возможные отклонения, причины отклонений и способы их устранения. С учетом этого предлагаются мероприятия, повышающие качество строительных работ. Определение критических точек и разработка управленческих воздействий позволяет обеспечить эффективность организационного механизма реализации проектов малоэтажного жилищного строительства для застройщика.

Ключевые слова: малоэтажное строительство, организация строительства, жизненный цикл, критические точки, риски, качество

Для цитирования: Скворцова Я. В., Безруких О. А. Совершенствование процессов производства и организации работ в малоэтажном жилищном строительстве // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 3. С. 374–383. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-3-374-383>.

Original article

Improvement of operational processes in low-rise housing construction

Yana V. Skvortsova¹, Olga A. Bezrukikh²

¹LLC Molodezhnyy, Irkutsk, Russia

²Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Corresponding author: Olga A. Bezrukikh, olga.bezrukikh11@gmail.com

Abstract. The development of low-rise housing construction is a key priority in the Russian Federation due to its potential to increase the total volume of housing construction. An increase in the share of this type of construction is a goal set in federal programmes and projects in the field of housing policy. At the same time, in order to make low-rise housing more popular among the population, its constructional stages should be optimized both at the operational and technological levels. In this regard, the study is aimed at updating methodological approaches to the organization of low-rise housing construction by identifying critical points in the operational processes of construction works. The study was conducted using the methods of system analysis and empirical research. Relevant research publications by Russian and foreign scientists on the topic were reviewed. The sequence of processes in low-rise housing

construction is considered with a detailed description of each stage. The analysis of the distinguished stages allowed the authors to identify critical points and possible deviations, as well as the causes of deviations and possible preventive measures. Strategies for improving the quality of construction works are proposed. The determination of critical points and development of managerial strategies can ensure the effectiveness of the organisational mechanism applied during the implementation of low-rise housing projects for developers.

Keywords: low-rise construction, construction organization, life cycle, critical points, risks, quality

For citation: Skvortsova Y. V., Bezrukikh O. A. Improvement of operational processes in low-rise housing construction. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2022;12(3):374-383. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-3-374-383>.

Введение

Проблема увеличения жилищного фонда всегда была актуальной, и теперь ее решение является приоритетной задачей экономической политики государства.

Начиная с 2018 года органы государственной власти используют различные инструменты социально-экономического развития отрасли малоэтажного строительства, в частности национальные проекты и программы, необходимые для привлечения застройщиков к массовому строительству малоэтажных зданий, а населения к приобретению такого вида жилья. Вместе с тем для дальнейшего развития отрасли малоэтажного строительства объема данных мер поддержки недостаточно, в связи с чем контроль над организацией малоэтажного строительства остается на достаточно низком уровне. Так, уже за I квартал 2022 года было введено в эксплуатацию 29,2 млн кв.м жилья, из которых 18,3 млн кв.м приходилось на индивидуальное жилищное строительство (ИЖС), а это опережает показатели того же квартала 2021 года на 87,4 %.

На основании статистических данных можно сделать вывод, что для необходимого достижения целей по вводу ИЖС целесообразно первоначально обеспечить качество процессов производства и организации работ в малоэтажном жилищном строительстве, что позволит минимизировать такие риски, как: применение устаревшей технологии, систематическая задержка сроков и низкая прибыль застройщика. На основании этого является актуальным рассмотреть цикл производства и организации работ в малоэтажном жилищном строительстве и определить возможные критические точки, которые оказывают влияние на качество и стоимость выполнения работ.

Методы

Проблемам организации и развития малоэтажного жилищного строительства, а также поискам их решений для внедрения новых методов или совершенствования технологии организации строительства посвящены труды зарубежных и отечественных исследователей: Ч. Юань, Ч. Сан, В. А. Гурьевой, Б. В. Гусева, З. В. Кахарова. На данный момент научно-практические работы не в полной мере отражают проблематику малоэтажного строительства, данный сегмент считается малоизученным, и его актуальность только растет [1].

В основу исследования заложена информационная база, включающая нормативно-правовые документы, в особенности Указ Президента № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года»¹, на основе которого были разработаны национальные проекты и федеральные программы развития малоэтажного строительства, отражающие необходимые мероприятия для достижения поставленных целей. Методологической базой являются метод сравнений и статистические методы.

Результаты и их обсуждение

Современный рынок малоэтажного строительства представлен не только индивидуальными домами, но и комплексными застройками в виде коттеджных поселков, кварталов или малоэтажных жилых комплексов. Последовательность выполнения работ при малоэтажном строительстве аналогична работам при возведении многоэтажных жилых комплексов и промышленных зданий, за исключением некоторых особенностей.

Если рассматривать взаимодействие субъектов гражданских отношений при

¹О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года: Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2018 № 204 (ред. от 21.07.2020) // Собрание законодательства Российской Федерации. 14.05.2018. № 20. Ст. 2817.

строительстве или приобретении малоэтажного жилого дома, стоит учесть, что в роли заказчика будет выступать физическое лицо, а в роли генерального подрядчика (строительной компании) – юридическое, поэтому выбор технологии и комплектации будущей постройки будет зависеть в основном от финансовых

возможностей и технологической обеспеченности заказчика.

Последовательность строительства малоэтажных жилых зданий указана на рисунке и состоит из нескольких ключевых этапов, которые, в свою очередь, включают в себя не менее значимые виды работ [2].



Порядок строительных процессов при малоэтажном строительстве [3]
The order of construction processes in low-rise construction [3]

С целью детализации строительных процессов рассмотрим каждый этап более подробно:

1. Проведение инженерно-геологических изысканий и топографо-геодезической съемки.

Данный этап необходим для получения заключения о свойствах грунтов, их несущей способности и наличия грунтовых вод, а также расположения растений (деревьев) и иных построек, находящихся на земельном участке. Все полученные результаты будут необходимы на стадии проектирования [4]. Ключевую ошибку может совершить инженер-геолог при лабораторных исследованиях проб грунта, в результате чего колонка скважины и результаты свойств грунтов будут не соответствовать действительности, что отразится на снижении несущей способности фундамента.

2. Проектные работы.

Исходя из данных, полученных в ходе проведения изыскательских работ, необходимых сроков строительства, особенностей земельного участка, пятна застройки и финансовой составляющей, инженер-конструктор принимает решение о выборе технологии строительства. Каждая технология включает в себя

определенные факторы, которые являются решающими при выборе.

После выбора технологии малоэтажного строительства происходит выбор подходящего типа фундамента и создание разделов проектной документации – АР («Архитектурные решения»), КЖ.0 («Конструкции железобетонные ниже отметки 0,000 м») и КЖ.1 («Конструкции железобетонные выше отметки 0,000 м») или КД («Конструкции деревянные») в зависимости от выбранной технологии [5]. При неверных результатах изысканий проекты будущего дома также будут содержать неверную информацию, то есть может произойти и такое, что из-за ошибки лаборанта конструктор примет решения о мелкозаглубленном фундаменте, а не о фундаменте глубокого заложения. Также возможны ошибки и со стороны архитектора при выполнении раздела АР, которые впоследствии приведут к неправильному выполнению работ [6].

3. Подготовительные работы.

В зависимости от типа фундамента состав земляных работ будет отличаться. Для ленточного необходимы траншеи и утрамбованная подушка из ПГС, а для свайного можно только снять растительный слой. Конечно, нужно

убрать все растительные насаждения с места будущей застройки, которые могут помешать проведению дальнейших работ. К подготовительным работам относят и устройство закладных элементов, то есть вывод труб для водоснабжения и водоотведения. Так как земляные работы выполняются согласно проекту КЖ.0, то ошибки при выполнении данного этапа имеют прямую зависимость от результатов инженерных изысканий. Не исключается также возможность некачественной подготовки под фундамент в целях экономии денежных средств застройщика.

4. Устройство фундамента.

Качественное устройство фундамента зависит от квалификации специалистов, которые будут выполнять работы, и наличия службы контроля качества [7]. Для сборного ленточного фундамента необходима качественная сварка закладных элементов между собой, герметизация швов, например, для свайных ключевую роль будет играть качество самих свай и специальная техника – механический или дизельный молот. Ведь если при выполнении фундаментных работ возникнут «дефекты», то несущая способность фундамента будет снижена, что потом может привести к деформациям и разрушению здания [8]. Ошибки при устройстве фундамента тоже имеют зависимость от экономии средств застройщика и правильного проектирования раздела КЖ.0. При выявлении отступлений от проекта на ранних стадиях появляется возможность исправления ошибок или частичной замены типа фундамента.

5. Монтаж коробки или сборки изделий.

Сборка дома зависит от используемой технологии и правильного выполнения проекта.

Таким образом, для монолитного или сборного дома необходимо учитывать особенности технологии возведения конструкции. Так, возможно появление трещин, мостиков холода и отслоение бетона. Для дома из бруса необходимо акцентировать внимание на качестве материалов, квалификации сборщиков и т.д. К этому пункту также относят устройство кровли с утеплением чердачного перекрытия, утепление стен, монтаж окон и дверей. Образующие в результате дефекты работ исправить будет сложно, но возможно.

6. Устройство инженерных коммуникаций.

К инженерным коммуникациям относят устройство холодного и горячего водоснабжения, если не предусмотрен монтаж бойлера, устройство отопительной системы – радиаторов или теплого пола, систем водоотведения и вентиляции [9, 10]. Системы водоотведения в

последующем подключаются к городским сетям, или герметичному, или переливному септику, монтаж которого происходит на этапе устройства фундамента, а сети водоснабжения также подключаются к городским сетям или скважине. Разводка электрических сетей и их технологическое подключение к городским энергетическим сетям зависит от перечня работ, которые выполняет застройщик. Выполнение разводок водоснабжения должен осуществлять специалист, ведь после устройства теплого пола и заливки стяжки будет трудозатратно производить демонтаж для устранения ошибок. Наличие протечек будет влиять на развитие мокрых процессов в построенном здании.

7. Внешняя отделка.

Исходя из архитектурных решений, происходит процесс внешней отделки здания фасадным материалом. На данный момент на рынке существует множество типов фасада – фиброцементные панели KMEW, виниловый сайдинг, деревянная обшивка и покраска. К внешней отделке относится и устройство оконных откосов, софитов и водосточной системы. Наличие квалифицированных специалистов-отделочников будет влиять на качество отделки дома. Риски допущения ошибок на этом этапе минимальны, и даже при их возникновении исправление будет минимальным по времени, трудоемкости и финансам.

8. Внутренняя отделка.

При реализации проектов малоэтажного строительства распространенным решением считается черновая отделка, даже при индивидуальном строительстве заказчики чаще всего выбирают такой вариант отделки для последующей реализации своих идей в дизайне интерьера дома. Таким образом, к внутренней отделке относят стяжку пола и механизированную отделку стен. При качественном выполнении работ наблюдается отсутствие каких-либо неровностей уровня полов и стен.

9. Благоустройство и инфраструктура.

Для частной застройки благоустройство ложится на плечи заказчика, но при необходимости возможна оплата дополнительных услуг по благоустройству придомовой территории или земельного участка в целом. Сюда включаются зеленые насаждения, устройство дорожек и тропинок и даже отмостка. При комплексной застройке эту работу выполняет застройщик исходя из генерального плана малоэтажного жилого комплекса или поселка [11, 12]. Также ему будет необходимо организовать развитую инфраструктуру – остановки общественного транспорта, школы, детские сады, магазины и

т.д. Нельзя забывать о необходимости возведения зданий санитарно-бытового назначения и складов. Строительство малоэтажных зданий выполняется преимущественно в теплое время года, что позволяет осуществить экономии денежных средств на зимнем прогреве ввиду его отсутствия. Для комплексной застройки применяют поточный метод строительства. Для него характерно последовательное, непрерывное и ритмичное выполнение работ, что существенно сокращает использование трудовых затрат и материально-технических ресурсов на строительной площадке, а в особенности сроки строительства [13]. Малоэтажное строительство, в свою очередь, может быть трех типов согласно степени механизации труда: механизированный, полумеханизированный и ручной. Наибольшей распространенностью как при индивидуальном, так и при комплексном строительстве считается полумеханизированный труд, когда используется мелкогабаритная техника, инструменты и ручной труд [14, 15]. Определяя стоимость строительства, стоит учитывать, что выбор определенной технологии составляет около 60 % от общей стоимости будущего дома, так как каждая технология имеет свои особенности, которые заметны еще на этапе проектирования.

Результаты и их обсуждение

Каждый этап строительных работ при малоэтажном жилищном строительстве содержит критические точки, анализ которых позволил определить способы их устранения с целью

минимизации отрицательного воздействия на итоговую продукцию (таблица).

Применение обозначенных способов устранения позволит не допустить значительных дефектов по основным видам строительных работ и реализовать следующие мероприятия, которые отразятся на стоимости будущего строительства и прибыли застройщика:

1. Изменение состава строительного подразделения, найм квалифицированной рабочей силы, введение службы контроля качества для проведения строительного-монтажных работ согласно план-графику с наивысшим уровнем качества в договорные сроки.

2. Изменение организационной структуры компании или механизма управления каждым подразделением в целях увеличения эффективности, качества работ и слаженности каждого отдела, а также для повышения статуса и качества конечного продукта компании – клубного поселка.

3. Отладка работы проектного отдела, а именно внедрение более тщательной проверки главным инженером проектов проектной документации во избежание обнаружения ошибок на этапе выполнения работ. Также следует согласовывать с аппаратом управления вносимые изменения или обсуждать добавления каких-либо элементов.

4. Организация поставки необходимых материалов путем заключения договора поставки с конкретными сроками и неустойкой в случае невыполнения своих обязательств.

Возможные критические точки при малоэтажном строительстве

Possible critical points in low-rise construction

Этапы строительных работ	Возможные отклонения	Причины отклонений	Способы устранения
1. Изыскательские работы	Неверное заключение о свойствах грунтов	Ошибка в лабораторных исследованиях	Взятие повторной пробы грунта
	Неправильная геодезическая схема	Ошибка при отбивке и съемке точек	Проведение повторной геодезической съемки на земельном участке или внесение изменений вручную
2. Проектные работы	Неправильный выбор типа фундамента	Ошибки в результатах изыскательских работ	Получение актуальных результатов изыскательских работ и повторное проектирование
3. Подготовительные работы	Некачественная подготовка под фундамент	Ошибки в проекте КЖ.0; ошибка производителей работ	Актуализация проекта для предотвращения отклонений; дополнительные земляные работы; замена трудовых единиц; контроль качества работ со стороны строительного контроля (СК)

Продолжение таблицы

Этапы строительных работ	Возможные отклонения	Причины отклонений	Способы устранения
4. Устройство фундамента	Снижение несущей способности	Ошибки в проекте КЖ.0; ошибки при земляных работах	Увеличение плотности грунтов оснований (цементизация, силикатизация и др.); замена отдельных элементов фундамента (при сборном); контроль качества работ со стороны СК
5. Монтаж коробки	Деформация здания	Неправильный тип фундамента; ошибки в проекте КЖ.0	Повышение жесткости основания при помощи свай или извлечение грунта из-под подошвы фундамента; демонтаж здания
	Протечки кровли	Нарушение кровельного материала; некачественные материалы; ошибка производителей работ	Замена трудовых единиц; демонтаж элементов кровли или замена их частей; контроль качества работ со стороны СК
	Нарушение целостности стеклопакетов	Некачественные материалы; ошибка производителей работ	Полная замена стеклопакетов на новые; замена трудовых единиц
6. Устройство инженерных коммуникаций	Образование протечек при подаче водоснабжения	Ошибка производителей работ; экономия СК; некачественные материалы	Для теплых полов – демонтаж стяжки, замена элементов и повторное устройство стяжки; для радиаторов – замена элементов труб или полностью радиатора; ХВС, ГВС – устройство заплаток или замена элементов труб; замена трудовых единиц
	Замыкание электросетей		Демонтаж проводки или частичная замена элементов; замена трудовых единиц
	Отсутствие работы приточно-вытяжной вентиляции		Демонтаж вентиляционных клапанов и их замена; замена трудовых единиц
7. Внешняя отделка	Повреждение фиброцементных панелей или неправильный монтаж	Ошибка производителей работ; экономия СК; некачественные материалы	Замена трудовых единиц; приобретение качественных материалов; демонтаж панелей или замена отдельных на цельные
	Механическое повреждение винилового сайдинга	Ошибка производителей работ; экономия СК; некачественные материалы	Замена трудовых единиц; приобретение качественных материалов; исправление повреждений; демонтаж сайдинга с последующим монтажом нового

Окончание таблицы

Этапы строительных работ	Возможные отклонения	Причины отклонений	Способы устранения
7. Внешняя отделка (продолжение)	Повреждение деревянной обшивки	Ошибка производителей работ; экономия СК; некачественные материалы	Замена трудовых единиц; демонтаж деревянных элементов и установка новых; устранение повреждений при помощи специальных растворов
	Нарушение покрытия из лакокрасочного материала	Ошибка производителей работ; отсутствие подготовительного слоя для окрашивания; экономия СК; некачественные материалы	Замена трудовых единиц; демонтаж лакокрасочного материала; приобретение качественных материалов; нанесение подготовительного слоя и повторная покраска
	Повреждения при монтаже софитов, водосточной системы и оконных откосов	Ошибка производителей работ; экономия СК; некачественные материалы	Замена трудовых единиц; приобретение качественных материалов; замена уже установленных материалов, устранение протечек и покраска элементов
8. Внутренняя отделка	Перепады высот стяжки пола и наличие наклонов на штукатурке стен	Некачественное выполнение работ; экономия СК	Повторная заливка стяжки и нанесение штукатурного слоя, при необходимости демонтаж
9. Благоустройство и инфраструктура	Неправильное расположение объектов инфраструктуры и благоустройства	Ошибка в проектной документации	Демонтаж уже построенных объектов или элементов с последующим возведением новых; внесение изменений в проектную документацию согласно существующим элементам
		Ошибка производителей работ	Замена трудовых единиц

Заключение

При строительстве малоэтажных зданий так же, как и при возведении многоэтажных жилых домов, существует масса критических точек. Для недопущения их появления со стороны строительной компании необходимо

применять качественные материалы, иметь квалифицированных специалистов и службу контроля качества, что обеспечит высокое качество построенных домов с последующими низкими эксплуатационными расходами.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Виноградова В. В., Демичев Я. С., Зайцева А. С. Эффективность применения аддитивной технологии при поточной организации строительства малоэтажного комплекса // Экономика и предпринимательство. 2021. № 4 (129). С. 1347–1352. <https://doi.org/10.34925/EIP.2021.129.4.269>.
- Рудык Н. В., Чиркунова Е. К. Современные тенденции развития инноваций в жилищном строительстве // Вестник Самарского

- университета. Экономика и управление. 2018. Т. 9. № 1. С. 33–37.
- Попов Р. А., Арутюнян М. С., Сайнароев Ч. А., Шахиев М. Р. Организационно-экономические и технологические аспекты современной проблематики жилищно-гражданского строительства // Экономика устойчивого развития. 2020. № 1 (41). С. 149–154.
- Басов А. В. Техническое регулирование и стандартизация в строительстве // Жилищное

строительство. 2019. № 1-2. С. 3–7. <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-1-2-3-7>.
5. Травуш В. И., Шапиро Г. И., Колчунов В. И., Леонтьев Е. И., Федорова Н. В. Проектирование защиты крупнопанельных зданий от прогрессирующего обрушения // Жилищное строительство. 2019. № 3. С. 40–46. <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-3-40-46>.
6. Лapidус А. А. Организационно-технологические особенности фундаментных систем малоэтажных многоквартирных домов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2018. № 5. С. 30–36. https://doi.org/10.12737/article_5af5a729373b78.58355664.
7. Лосев Ю. Г., Лосев К. Ю. Развитие малоэтажного жилищного строительства на основе строительных систем с применением композиционных гипсобетонов // Строительные материалы. 2021. № 10. С. 60–64. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-796-10-60-64>.
8. Мусин Б. С., Ибрагимов Р. А., Богданов Р. Р. Нормирование технологических операций в малоэтажном строительстве на примере жилого комплекса «Маленький Токио» // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. № 2 (52). С. 73–80.
9. Баулин А. В., Перунов А. С. Строительный контроль в проекте производства работ // Инженерный вестник Дона. 2021. № 4 (76). С. 1–12.

10. Неровная Ю. А. Организация контроля исполнительной документации на объектах строительства // Наука без границ. 2020. № 5 (45). С. 96–106.
11. Шарова А. С., Шенкман Р. И. Технология информационного моделирования календарного планирования строительства // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2020. Т. 2. С. 183–187.
12. Стецкий С. В., Ларионова К. О., Камагина В. В. Обзор современных проектных решений жилых зданий в архитектурно-строительной практике США: классификация и типы зданий // Инновации и инвестиции. 2022. № 1. С. 196–201.
13. Гусакова Н. В., Минаев Н. Н., Прокофьева Г. И., Ярлакабов А. А. Разработка базовой и вариативных моделей управления развитием малоэтажного жилищного строительства в России // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. № 5. С. 37–49. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2021-23-5-37-49>.
14. Акимов Э. Ш., Акимов С. Ф. Технологические особенности малоэтажного жилищного строительства // Экономика строительства и природопользования. 2019. № 2 (71). С. 149–158.
15. Волкова А. В. Анализ способов оптимизации организационно-технологических моделей проектов организации жилищного строительства // Научный журнал молодых ученых. 2021. № 4 (25). С. 46–50.

REFERENCES

1. Vinogradova VV, Demichev YaS, Zaitseva AS. The effectiveness of the use of additive technology in the flow organization of the construction of a low-rise complex. *Ekonomika i predprinimatel'stvo = Journal of Economy and entrepreneurship*. 2021;4(129):1347-1352. (In Russ.). <https://doi.org/10.34925/EIP.2021.129.4.269>.
2. Rudyk NV, Chirkunova EK. Modern tendencies of development of innovations in housing construction. *Vestnik Samarskogo universiteta. Ekonomika i upravlenie = Vestnik of Samara University. Economics and Management*. 2018;9(1):33-37. (In Russ.).
3. Popov RA, Arutunyan MS, Sainaroev ChA, Shakhiev MR. Organizational, economic and technological aspects of contemporary issues housing and civil engineering. *Ekonomika ustoichivogo razvitiya = Economics of sustainable development*. 2020;1(41):149-154. (In Russ.).

4. Basov AV. Technical regulation and standardization in construction. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2019;1-2:3-7. (In Russ.). <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-1-2-3-7>.
5. Travush VI, Shapiro GI, Kolchunov VI, Leont'ev EI, Fedorova NV. Design of protection of large-panel buildings against progressive collapse. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2019;3:40-46. (In Russ.). <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-3-40-46>.
6. Lapidus AA. The organizational-technological features of foundation systems of low-storeyed apartment buildings. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V. G. Shukhova = Bulletin of Belgorod state technological university named after. V. G. Shukhov*. 2018;5:30-36. (In Russ.). https://doi.org/10.12737/article_5af5a729373b78.58355664.

7. Losev YuG, Losev KYu. Development of low-rise housing construction based on building systems using composite gypsum concretes. *Stroitel'nye materialy*. 2021;10:60-64. (In Russ.). <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-796-10-60-64>.
8. Musin BS, Ibragimov RA, Bogdanov RR. Rationing of technological operations in low-rise building on the example of the residential complex "Little Tokyo". *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2020;2(52):73-80. (In Russ.).
9. Baulin AV, Perunov AS. Construction control in the project of work production. *Inzhenernyi vestnik Dona = Engineering journal of Don*. 2021;4(76): 1-12. (In Russ.).
10. Neronovaya YuA. Organization of control of executive documentation at construction sites // *Nauka bez granits*. 2020;5(45):96-106. (In Russ.).
11. Sharova AS, Shenkman RI. Information modeling technology for construction scheduling. *Sovremennye tekhnologii v stroitel'stve. Teoriya i praktika*. 2020;2:183-187. (In Russ.).
12. Stetskii SV, Larionova KO, Kamagina VV. Review of modern design solutions for residential buildings in the architectural and construction practice of the united states: classification and types of buildings. *Innovatsii i investitsii*. 2022;1:196-201. (In Russ.).
13. Gusakova NV, Minaev NN, Prokof'eva GI, Yarlakabov AA. Development of basic and variable models for development control for low-rise housing in Russia. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta = Journal of Construction and Architecture*. 2021;5:37-49. (In Russ.). <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2021-23-5-37-49>.
14. Akimova ESh, Akimov SF. Technological features of low-rise housing construction. *Ekonomika stroitel'stva i prirodopol'zovaniya*. 2019;2(71):149-158. (In Russ.).
15. Volkova AV. Analysis of ways to optimize organizational and technological models of housing construction projects. *Nauchnyi zhurnal molodykh uchennykh*. 2021;4(25):46-50. (In Russ.).

Информация об авторах**Я. В. Скворцова,**

ведущий специалист по финансовому учету и анализу хозяйственной деятельности,
ООО «Молодежный»,
664050, г. Иркутск, ул. Байкальская, 346,
оф. 3, Россия,
e-mail: 79025612229@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9363-5678>

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>

Вклад авторов

Скворцова Я. В., Безруких О. А. имеют равные авторские права. Безруких О. А. несет ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors**Yana V. Skvortsova,**

Leading Specialist in Financial Accounting and Business Analysis,
LLC Molodezhnyy,
346 Baikalskaya St., office 3, Irkutsk, 664050,
Russia,
e-mail: 79025612229@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9363-5678>

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>

Contribution of the authors

Skvortsova Ya. V., Bezrukikh O. A. have equal author's rights. Bezrukikh O. A. bears the responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

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

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

Статья поступила в редакцию 05.07.2022.
Одобрена после рецензирования 21.07.2022.
Принята к публикации 25.07.2022.

The article was submitted 05.07.2022.
Approved after reviewing 21.07.2022.
Accepted for publication 25.07.2022.



Оценка приемлемости и погрешности применения спектральных разложений в задачах динамики нелинейных многомерных систем

© Владимир Иванович Соболев, Данил Андреевич Кармазинов

Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Кармазинов Данил Андреевич, dkarmazinov@gmail.com

Аннотация. Как правило, реальные элементы конструкций обладают различными нелинейными свойствами, наиболее существенно проявляющимися при интенсивных динамических процессах. Отклонение механических характеристик от линейных, принятых в идеализированных моделях, для которых осуществляется решение проблемы собственных значений, может привести к неприемлемым погрешностям расчетов или даже сделать результаты абсолютно неверными. По этой причине остается открытым вопрос точности и правомерности использования линейных моделей и обусловленных ими методов, основанных на применении решения проблем собственных значений. Цель работы – проанализировать погрешности, возникающие при использовании спектральных методов в условиях «наилучших» приближений нелинейных характеристик линейными зависимостями, полученными на основе среднеквадратичных аппроксимаций, исключая излишние сомнения в формировании результатов. Рассматривалась динамическая модель в виде безопорной балки с двумя сосредоточенными массами, совершающими колебания в направлениях, перпендикулярных оси жесткости. Для линейной модели произведена оценка точности аппроксимации исходной нелинейной жесткости путем сравнения амплитудных значений перемещения и скоростей системы при линеаризованной и исходной жесткости. Также рассмотрено сравнение вышеуказанного способа линеаризации с линеаризацией по нулевой первой производной нелинейной жесткостной функции. Полученные расхождения в результате являются функциями начальных условий. Предельные значения отклонений в точке максимума функции, описывающей нелинейность жесткости, составили для метода среднеквадратичных отклонений 2,02 %, для метода нулевой первой производной – 10,55 %. Полученные результаты требуют уточнения в отношении конструктивных систем, применяющихся в строительной практике.

Ключевые слова: линейно-спектральная теория, безопорные системы, мягкая нелинейность, собственные числа, собственные колебания, RADAU5

Для цитирования: Соболев В. И., Кармазинов Д. А. Оценка приемлемости и погрешности применения спектральных разложений в задачах динамики нелинейных многомерных систем // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 3. С. 384–393. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-3-384-393>.

Original article

Assessment of the applicability and error of eigendecomposition in the problems of nonlinear multidimensional system dynamics

© Vladimir I. Sobolev, Danil A. Karmazinov

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Corresponding author: Danil A. Karmazinov, dkarmazinov@gmail.com

Abstract. Real structural elements exhibit various nonlinear properties, which are most significantly manifested during intensive dynamic processes. The deviation of mechanical characteristics from the linear ones adopted in idealised models, for which the problem of eigenvalues is solved, can lead to unacceptable calculation errors or completely false results. For this reason, the accuracy and applicability of linear models and resulting methods based on solving problems of eigenvalues remain an open question. The study is aimed at the analysis of errors associated with the application of spectral methods in “best” approximations of nonlinear characteristics by linear dependences, obtained on the basis of root-mean-

square approximations, which prevent superfluous doubts about the result formation. A dynamic model of an unsupported beam with two concentrated masses oscillating in directions perpendicular to the stiffness axis was considered. For the linear model, the accuracy of approximating the initial nonlinear stiffness was assessed by comparing the amplitude displacement values and velocities of the system at the linearized and initial stiffness. In addition, a comparison of the above linearization method with the linearization by a zero first derivative of the nonlinear stiffness function is considered. The discrepancies in the results represent the functions of initial conditions. The limit values of deviations at the maximum point of the function, describing the nonlinearity of stiffness, comprised 2.02 and 10.55% for the methods of standard deviation and zero first derivative, respectively. The obtained results require clarification with regard to structural systems used in construction practice.

Keywords: linear spectral theory, unsupported systems, soft nonlinearity, eigenvalues, natural fluctuations, RADAU5

For citation: Sobolev V. I., Karmazinov D. A. Assessment of the applicability and error of eigendecomposition in the problems of nonlinear multidimensional system dynamics. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(3):384-393. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-3-384-393>.

Введение

В решении задач строительной механики в подавляющем большинстве случаев используется гипотеза линейной упругости материала конструкций, что делает оправданным применение принципа суперпозиции. В свою очередь, использование этого принципа делает доступными многие методы и приемы решения многомерных задач статики и динамики.

Использование линейной гипотезы деформирования материала конструкций позволяет применять в расчетах матричный аппарат, эффективность которого основана на использовании развитой теоретической базы, а также подтверждена многолетней и разнообразной практикой использования данного аппарата в самых разнообразных областях науки [1, 2]. Однако применение гипотезы линейно-упругого деформирования материала конструкций требует должных обоснований; по этой причине в случае интенсивных воздействий требуется оценка полученных результатов. Следует отметить, что получение точных аналитических решений дифференциальных нелинейных уравнений динамики является достаточно сложной задачей даже в случае применения систем с одной степенью свободы [3], и решение таких задач требует использования различных приемов аппроксимации. Примером может служить приближение к нелинейности осциллятора Дуффинга [4]. В качестве возможных приемов аппроксимации могут быть также упомянуты приближения Чебышева [5, 6].

Приведенные способы хоть и позволяют достичь высокой степени точности аппроксимации в одномерных вариантах, но их применение в многомерных динамических системах требует использования некоторых достаточно

простых способов описания процессов динамического взаимодействия, что зачастую приводит к применению методов спектрального разложения [7] с использованием приемов линейных аппроксимаций. Таким образом, становится очевидной потребность в оценке точности и погрешности проявления линейных аппроксимаций в применении спектральных преобразований в решении задач многомерной нелинейной динамики.

Методы

Получение решений с линеаризованной жесткостью

Попытаемся дать оценку использования линейного приближения нелинейной динамической системы по условиям среднеквадратичной аппроксимации. Рассмотрим наиболее простую нелинейную упругую систему с жесткостной функцией вида:

$$H(x) = -ax^3 + c \cdot x, \quad (1)$$

где x – возможное перемещение точки, совершающей колебательное движение.

Такая функция выбрана из условий сохранения полярной симметрии относительно точки исходного положения равновесия [8]. Для аппроксимации исходной функции линейной зависимостью используем критерий среднеквадратичного приближения:

$$\int_0^l (-ax^3 + c \cdot x - rx)^2 dx, \quad (2)$$

где rx – линейное приближение жесткостной функции (1); l – некоторое отклонение точки колебательной системы, в пределах которого выполняется линеаризация.

Тогда условие определения r (жесткости), дающее минимальное среднеквадратичное отклонение, запишется как:

$$\frac{d}{dr} \left(\int_0^l (-ax^3 + c \cdot x - rx)^2 dx \right) = 0. \quad (3)$$

Жесткость r , таким образом, определяется как:

$$r = -\frac{3 \cdot a \cdot l^2}{5} + c. \quad (4)$$

Для упрощения нашей задачи в качестве рассматриваемой системы выберем систему с двумя динамическими степенями свободы, что будет в математическом смысле соответствовать системе, совершающей свободные колебания вида:

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 + r_{11}x_1 - r_{12}x_2 = 0 \\ m_2 \ddot{x}_2 - r_{21}x_1 + r_{22}x_2 = 0 \end{cases} \quad (5)$$

Предполагая инерционные параметры (массы) данной системы известными и учитывая, что $m_1 = m_2 = m$, а также что $r_{11} = r_{12} = r_{21} = r_{22} = r$, рассмотрим матрицу динамических жесткостей для анализа нелинейной связи и сформируем условия определения частот и форм собственных колебаний в виде:

$$\|D^*\| = \left\| \begin{pmatrix} \frac{r}{m} - \lambda & -\frac{r}{m} \\ -\frac{r}{m} & \frac{r}{m} - \lambda \end{pmatrix} \right\|, \quad (6)$$

где r определяется согласно (4); λ – собственные числа (значения) матрицы динамических жесткостей $D = \begin{pmatrix} \frac{r}{m} & -\frac{r}{m} \\ -\frac{r}{m} & \frac{r}{m} \end{pmatrix}$, определяемые как $\lambda = \omega^2$.

Запись матрицы динамической жесткости в форме (6) осуществляется при использовании следующей замены для x_1 и x_2 :

$$\begin{aligned} x_1 &= a_1 \cos(\omega t) \\ x_2 &= a_2 \cos(\omega t) \end{aligned} \quad (7)$$

Для исследования влияния нелинейной связи рассмотрим только лишь динамическое взаимодействие двух одинаковых масс, соединенных нелинейной связью, отбросив опорные связи. Такая безопорная система, кроме исключительно теоретического интереса, может быть использована при формировании узловых эффектов в безопорной колебательной балке с дальнейшим ее применением в системах виброзащиты [9].

Для определения собственных значений λ такой динамической системы решим проблему собственных значений путем приравнивания (6) нулю:

$$\begin{aligned} \|D^*\| &= \left\| \begin{pmatrix} \frac{r}{m} - \lambda & -\frac{r}{m} \\ -\frac{r}{m} & \frac{r}{m} - \lambda \end{pmatrix} \right\| = \\ &= \left\| \begin{pmatrix} -\frac{3 \cdot a \cdot l^2}{5} + c - \lambda & -\frac{3 \cdot a \cdot l^2}{5} + c \\ -\frac{3 \cdot a \cdot l^2}{5} + c & -\frac{3 \cdot a \cdot l^2}{5} + c - \lambda \end{pmatrix} \right\| = 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Вычисляя детерминант (8), получим:

$$\lambda(6al^2 - 10c + 5m\lambda) = 0,$$

корни которого, очевидно, найдутся как:

$$\begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{-6al^2 + 2c}{m} \end{pmatrix}. \quad (9)$$

Поскольку динамическая система безопорна, то справедливо, что $\lambda_1 = 0$.

Определим теперь собственные векторы системы (5). Для этого запишем первое уравнение данной системы с учетом замены (7) и подставим найденное нами значение λ_1 , приняв предварительно $a_1 = 1$:

$$\left(\frac{-3 \cdot a \cdot l^2}{5} + c \right) \cdot 1 - \left(\frac{-3 \cdot a \cdot l^2}{5} + c \right) a_2 = 0. \quad (10)$$

Решив полученное уравнение и найдя a_2 , получим собственный вектор A_1 системы (5), нормируя который, получим:

$$A_{1n} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix}. \quad (11)$$

Проведя аналогичные вычисления для λ_2 , получим для нормированного собственного вектора A_{2n} :

$$A_{2n} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \\ -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix}.$$

Таким образом, введем матрицу Φ , составленную из компонентов нормированных векторов A_{1n} и A_{2n} :

$$\Phi = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix}. \quad (12)$$

Используя (12), можно произвести разделение переменных исходной системы уравнений (5), осуществляя фактически отображение колебательного процесса по направлению собственных векторов. Для этого введем замену переменных $X = \Phi^{-1}Y$ и преобразуем исходную систему уравнений в матричной форме:

$$\begin{aligned} \ddot{X} + DX &= \Phi^{-1}\ddot{Y} + D\Phi^{-1}Y = 0 \\ \ddot{Y} + \Phi D\Phi^{-1}Y &= \ddot{Y} + \Lambda Y = 0, \end{aligned} \quad (13)$$

где $\Lambda = \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & \frac{-6al^2 + 2c}{m} \end{pmatrix}$ – матрица собственных чисел матрицы D .

Решая систему (13), получим следующее выражение относительно Y :

$$Y = \begin{pmatrix} C_1^1 t + C_2^1 \\ C_1^2 \cdot \cos(\sqrt{\lambda_2} t) \end{pmatrix}.$$

Для данной системы, используя матрицу единичных собственных векторов Φ , можно получить значения начальных условий относительно пространства Y (в качестве начальных условий для пространства X рассмотрим вариант, соответствующий второй собственной

форме колебаний: $X_0 = \begin{pmatrix} x_0 \\ -x_0 \end{pmatrix}$ и $X_0' = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$, где x_0 – некоторое начальное возмущение точек системы в форме перемещения). Воспользовавшись этими начальными значениями, мы, в свою очередь, получаем точные значения для констант C_1^1 , C_2^1 и C_1^2 . Возвращаясь к исходным значениям X , для вектор-функций перемещения и скорости мы окончательно получаем:

$$X = \begin{pmatrix} x_0 \cdot \cos\left(\left[\left(\frac{-6al^2+2c}{m}\right)^{\frac{1}{2}} t\right]\right) \\ -x_0 \cdot \cos\left(\left[\left(\frac{-6al^2+2c}{m}\right)^{\frac{1}{2}} t\right]\right) \end{pmatrix}. \quad (14)$$

$$V = \begin{pmatrix} -\left(\frac{-6al^2+2c}{m}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot x_0 \cdot \sin\left(\left[\left(\frac{-6al^2+2c}{m}\right)^{\frac{1}{2}} t\right]\right) \\ \left(\frac{-6al^2+2c}{m}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot x_0 \cdot \sin\left(\left[\left(\frac{-6al^2+2c}{m}\right)^{\frac{1}{2}} t\right]\right) \end{pmatrix}. \quad (15)$$

Полученные компоненты X отображают перемещения узлов модели в исходной системе координат (исходном пространстве).

Рассмотрим теперь аппроксимацию жесткостной функции в виде производной в нулевой точке:

$$r'(x) = k \cdot x, \quad (16)$$

$$\text{где } k = \frac{d}{dx} H(x)|_{x=0} = \frac{d}{dx} (-ax^3 + c \cdot x)|_{x=0} = c.$$

Идея обращения к жесткостной функции такого рода состоит в ее повсеместной распространенности в инженерных расчетах. Однако очевидно, что аппроксимация нелинейной функции жесткости данным выражением применима лишь в небольших пределах относительного смещения точек тел системы (линейно упругие деформации), что иллюстрируется рис. 1.

По этой причине возникает потребность в оценке точности линейаризации по величине производной в точке исходного равновесия (линейаризация по нулевой первой производной) и ее сравнении с таковой для линейаризации по среднеквадратичному отклонению.

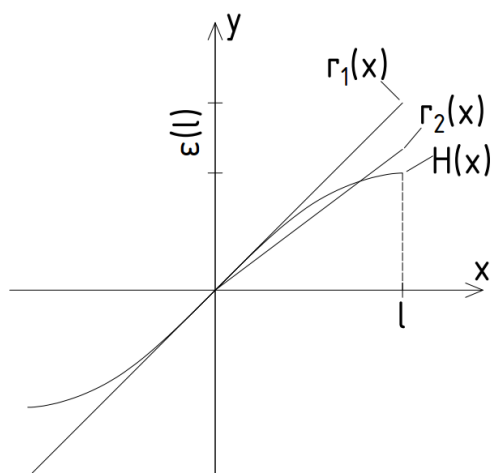


Рис. 1. Аппроксимации нелинейной функции $H(x)$ ее приближением

Fig. 1. Demonstration of the approximation of a nonlinear function $H(x)$ by its approximations

Для этого получим сперва вектор-функции перемещений и скоростей точек рассматриваемой колебательной системы при новой линейаризации жесткости. Прделав вышеописанные операции (6–15), заменив в них функции жесткости выражением (16), в качестве решения системы дифференциальных уравнений получим:

$$X = \begin{pmatrix} x_0 \cdot \cos\left(\left[\left(\frac{2c}{m}\right)^{\frac{1}{2}} t\right]\right) \\ -x_0 \cdot \cos\left(\left[\left(\frac{2c}{m}\right)^{\frac{1}{2}} t\right]\right) \end{pmatrix}. \quad (17)$$

$$V = \begin{pmatrix} -\left(\frac{2c}{m}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot x_0 \cdot \sin\left(\left[\left(\frac{2c}{m}\right)^{\frac{1}{2}} t\right]\right) \\ \left(\frac{2c}{m}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot x_0 \cdot \sin\left(\left[\left(\frac{2c}{m}\right)^{\frac{1}{2}} t\right]\right) \end{pmatrix}. \quad (18)$$

Оценка точности методик линейаризации

Для оценки точности вариантов решения, отраженных в (14), (15) и (17), (18), получим решение, сформированное при использовании исходной нелинейной модели, имеющей кубическую нелинейность в отображении жесткости (1). Для этого найдем решение системы (5) с помощью методов численного

интегрирования. С этой целью воспользуемся программным комплексом *Mathcad*, позволяющим выполнять численное интегрирование дифференциальных уравнений посредством использования встроенных функций.

Для решения задач, поставленных в рамках данной работы, был применен метод *RADAU5* [10], функционал которого позволяет использовать его для решения систем с «мягкой» и с «жесткой» нелинейностью с весьма высоким уровнем точности и устойчивости результата (последнее имеет значение для жестких систем уравнений и не принципиально в рамках данной работы).

Определившись с методом численного дифференцирования, рассмотрим поведение систем (14), (15) и (17), (18) совместно с численным решением дифференциальных уравнений колебательной системы с жесткостной функцией вида кубической параболы. При этом сравниваются перемещения и скорости лишь одной из масс системы при начальных отклонениях, соответствующих следующему условию:

$$\frac{d}{dx}H(x)|_{x=l} = 0,$$

что эквивалентно

$$l = l_{\text{пр}} = \frac{\sqrt{3}\sqrt{c}}{3\sqrt{a}}. \quad (19)$$

Данное значение примечательно тем, что соответствует (в нашей постановке задачи) верхней границе упругой деформации тела при условии аппроксимации функцией вида (1) диаграммы деформирования материалов [8]. Соответственно, значения погрешности, полученной в данной точке, определяют саму допустимость аппроксимации вида (4) и (16) в целом, а также позволяют дать оценку относительной точности аппроксимации этих методов. Задав теперь значения параметров, характеризующих колебательную систему, сравним значения погрешности в амплитудных отклонениях перемещения и скоростей (рис. 2 и рис. 3 соответственно).

Для удобства представления результатов было принято решение ограничиться интервалом, равным периоду колебаний системы с жесткостью вида (4).

Таким образом, можно заключить, что в амплитудных значениях скоростей наблюдается некоторая погрешность, вызванная, очевидно, влиянием нелинейности исходной функции жесткости.

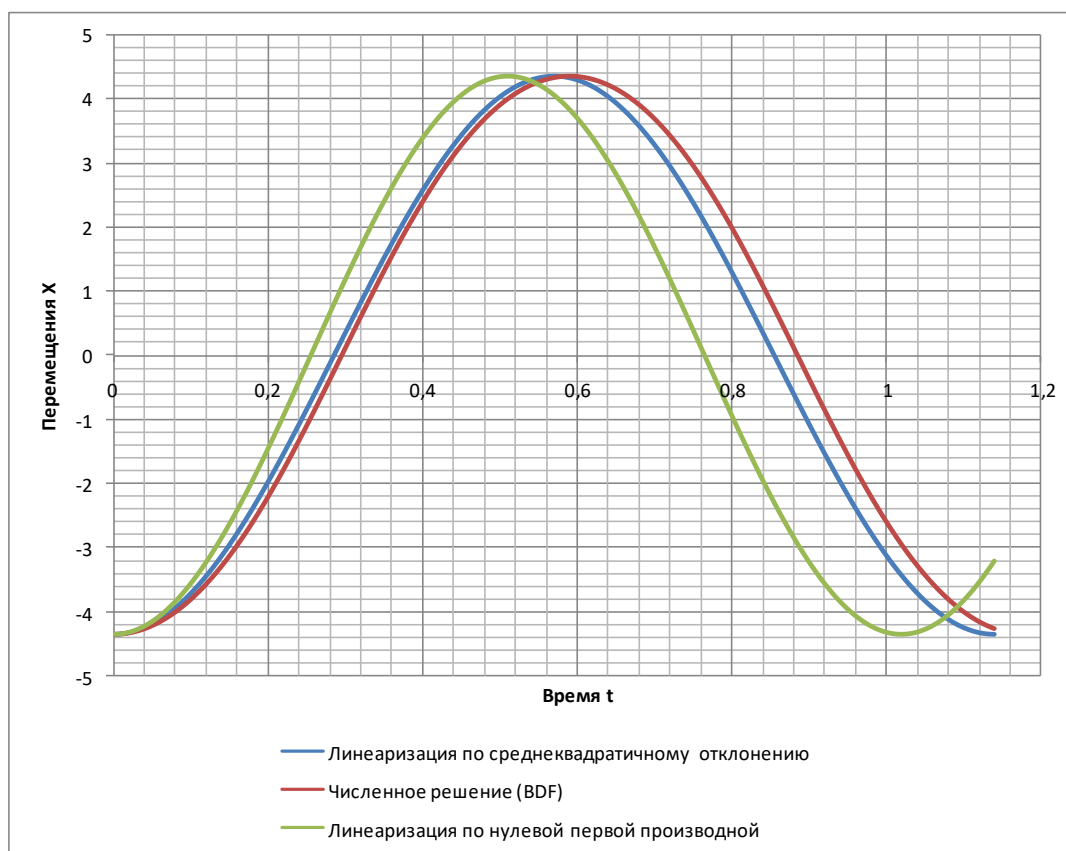


Рис. 2. Сравнительная диаграмма функций $X_2(t)$ при $m = 1$, $a = 1$, $c = 20$

Fig. 2. Comparative diagram of functions $X_2(t)$ with $m = 1$, $a = 1$, $c = 20$

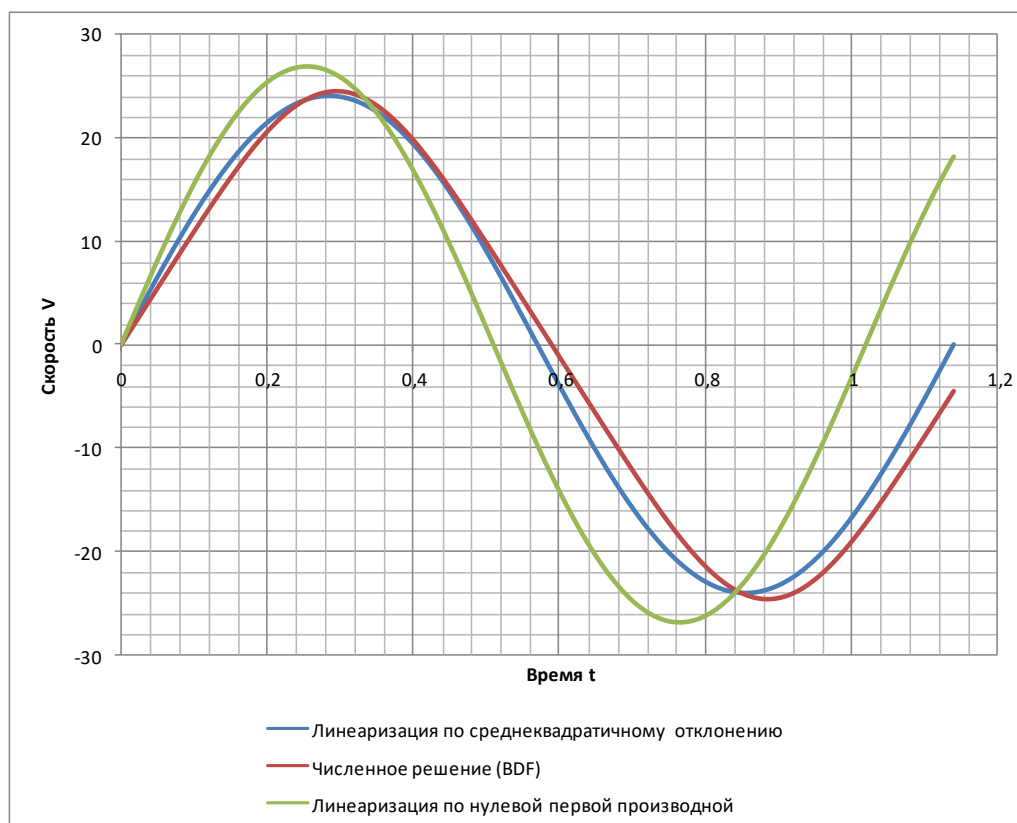


Рис. 3. Сравнительная диаграмма функций $V_2(t)$ при $m = 1$, $a = 1$, $c = 20$
Fig. 3. Comparative diagram of functions $V_2(t)$ with $m = 1$, $a = 1$, $c = 20$

Данное обстоятельство важно тем, что эти отклонения фактически определяют погрешности вычисления собственных частот $\sqrt{\lambda}$ в соответствии с принципами линейно-спектральной теории. Соответственно, при определении значений коэффициента динамичности возникает неточность, которая (к примеру) может повлечь за собой погрешность в определении сейсмических нагрузок и внутренних усилий системы [11], если речь заходит о расчете конструкций на сейсмостойкость.

Результаты и их обсуждение

Рассмотрим для наглядности несколько систем с различными значениями параметра a при значениях параметра $m = 1$ и параметра $c = 1$ и покажем, что погрешность амплитудных значений $V_2(t)$ и $X_2(t)$ сохраняется при значениях начальных смещений, равных значению $l_{пр}$. Последнее соответствует колебательному процессу, протекающему в нелинейно упругой области деформации материала. Расчеты сведены в табл. 1.

Таблица 1. Сравнение погрешностей амплитудных значений $X_2(t)$ и $V_2(t)$ в нелинейно упругой области деформации материала при изменении параметра a

Table 1. Comparison of errors of amplitude values $X_2(t)$ and $V_2(t)$ in the nonlinear elastic deformation region of the material when changing the parameter a

a	Численное решение		Решение при линеаризации по среднеквадратичному отклонению				Решение при линеаризации по нулевой первой производной			
	$X_{2амп} 10^{-2}$	$V_{2амп} 10^{-2}$	$X_{2амп} 10^{-2}$	$V_{2амп} 10^{-2}$	$\varepsilon_{Хамп}, \%$	$\varepsilon_{Хамп}, \%$	$X_{2амп} 10^{-2}$	$V_{2амп} 10^{-2}$	$\varepsilon_{Хамп}, \%$	$\varepsilon_{Хамп}, \%$
10	18,26	23,57	18,25	23,09	0	2,02	18,26	25,82	0	9,54
20	12,91	16,67	12,91	16,33	0	2,02	12,91	18,25	0	9,54
30	10,54	13,61	10,54	13,33	0	2,02	10,54	14,91	0	9,54

Из анализа табл. 1 становится ясно, что при начальных условиях, соответствующих

деформациям в нелинейно упругой области, предпочтительнее использовать линеаризацию

в форме минимума среднеквадратичного отклонения, поскольку это позволяет уменьшить величину погрешности практически пятикратно, что является существенным с инженерной точки зрения. Теперь рассмотрим ситуацию колебания этих же систем под

воздействием начальных смещений, существенно ниже значений, вычисляемых согласно (19). Для определенности примем начальные условия в виде $X_0 = \begin{pmatrix} 0,01l \\ -0,01l \end{pmatrix}$. Расчеты сведены в табл. 2.

Таблица 2. Сравнение погрешностей амплитудных значений $X_2(t)$ и $V_2(t)$ в линейно упругой области деформации материала при изменении параметра a

Table 2. Comparison of errors of amplitude values $X_2(t)$ and $V_2(t)$ in the linear elastic deformation region of the material when changing the parameter a

a	Численное решение		Решение при линейаризации по среднеквадратичному отклонению				Решение при линейаризации по нулевой первой производной			
	$X_{2\text{амп}} 10^{-4}$	$V_{2\text{амп}} 10^{-4}$	$X_{2\text{амп}} 10^{-4}$	$V_{2\text{амп}} 10^{-4}$	$\varepsilon_{X\text{амп}}, \%$	$\varepsilon_{V\text{амп}}, \%$	$X_{2\text{амп}} 10^{-4}$	$V_{2\text{амп}} 10^{-4}$	$\varepsilon_{X\text{амп}}, \%$	$\varepsilon_{V\text{амп}}, \%$
10	18,26	25,82	18,26	23,09	0	10,55	18,26	25,82	0	0
20	12,91	18,26	12,91	16,33	0	10,55	12,91	18,26	0	0
30	10,54	14,91	10,54	13,33	0	10,55	10,54	14,91	0	0

Рассматривая результаты вычислений, представленные в табл. 1 и 2, можно заключить, что область применимости линейаризации по среднеквадратичному отклонению зависит от величины начальных воздействий: при начальных возмущениях, соответствующих упругим деформациям, предпочтительно применение линейаризации по нулевой первой производной; соответственно, в случае нелинейно упругих деформаций для минимизации погрешностей надлежит использовать линейную

жесткость вида (4). Руководствуясь данным умозаключением, можно установить величину начальных перемещений в долях от $l_{\text{пр}}$, соответствующих превышению погрешности амплитудных значений скоростей при аппроксимации вида (16) над погрешностью при аппроксимации вида (4).

Для этого обратимся к сравнительной диаграмме погрешностей $\varepsilon_{V\text{амп}}$ как функции параметра $x_{0\text{относ}} = \frac{x_0}{l_{\text{пр}}}$ (рис. 4).

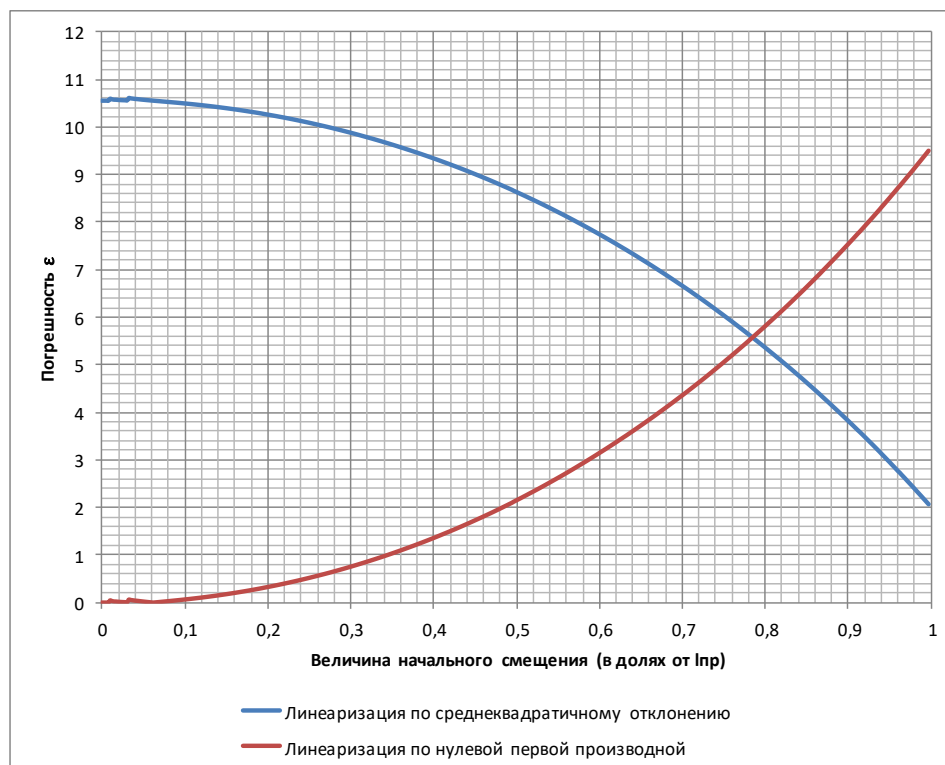


Рис. 4. Сравнительная диаграмма погрешностей $\varepsilon_{V\text{амп}}(x_{0\text{относ}})$
Fig. 4. Comparative error diagram $\varepsilon_{V\text{амп}}(x_{0\text{relative}})$

На представленной диаграмме можно определить значение интересующей нас величины $x_{\text{относ}}$ как $\sim 0,78$. Этому значению соответствует погрешность в размере $\sim 5\%$, укладывающаяся в пределы инженерной погрешности. Таким образом, для жесткостных функций вида (1) можно установить следующие интервалы $x_{\text{относ}}$, на которых уместно применять рассмотренные варианты аппроксимации:

$$\left\{ \begin{array}{l} r_1(x) = c \cdot x, \\ \text{при } 0 \leq x_{\text{относ}} \leq 0.78 \\ r_2(x) = \left(-\frac{3 \cdot a \cdot l^2}{5} + c \right) \cdot x, \\ \text{при } 0.78 < x_{\text{относ}} \leq 1 \end{array} \right. \quad (20)$$

Заключение

При использовании спектральных методов расчета многомерных динамических систем целесообразно применять методы аппроксимации исходной нелинейной динамической системы с реализацией критериев наилучшего приближения, в частности метод квадратичной аппроксимации.

Сравнительный анализ результатов погрешности использования моделей по значениям производной в точке исходного состояния покоя и моделей, сформированных по условиям квадратичной аппроксимации, показывает неоспоримое преимущество метода линеаризации с использованием аппроксимации.

Амплитудные значения перемещений нелинейной и линеаризованной по квадратичному критерию систем не имеют различий при проявлении собственных колебаний. При этом данное утверждение справедливо независимо от значений начальных условий. Погрешность амплитудных значений скоростей нелинейной и линеаризованных систем является функцией начальных условий. Так, при линеаризации по значению производной в нулевой точке погрешность величин скоростей может превышать 10% при значительных отклонениях точек системы от положения равновесия. Полученные результаты позволяют сделать вывод о приемлемости спектральных методов при определении экстремальных величин напряженного состояния по амплитудным значениям перемещений динамической модели, линеаризованной с использованием методов аппроксимации.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Балтина А. М. Оценка эффективности расходов государственных (муниципальных) учреждений // Финансы и кредит. 2011. № 13 (445). С. 57–62.
2. Суюмбаев Х. У., Ногеров И. А., Шогенов Б. В., Макшаева М. И. Оценка надежности оборудования АЭС в рамках линейно-спектральной теории сейсмостойкости // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2-1. С. 172.
3. Beléndez A., Beléndez T., Martínez F. S., Pascual C., Álvarez M. L., Arribas E. Exact solution for the unforced Duffing oscillator with cubic and quintic nonlinearities // Nonlinear Dynamics. 2016. Vol. 86. p. 1687-1700. <https://doi.org/10.1007/s11071-016-2986-8>.
4. Kovacic I., Brennan M. J. The Duffing Equation: Nonlinear Oscillators and their Behaviour. John Wiley and Sons, 2011. 392 p.
5. Beléndez A., Hernández A., Beléndez T., Pascual C., Álvarez M. L., Arribas E. Solutions for Conservative Nonlinear Oscillators Using an Approximate Method Based on Chebyshev Series Expansion of the Restoring Force // Acta Physica Polonica A. 2016. Vol. 130 (3). p. 667-678. <https://doi.org/10.12693/APhysPolA.130.667>.
6. Elías-Zúñiga A. "Quintication" method to obtain approximate analytical solutions of non-linear oscillators // Applied Mathematics and Computation. 2014. Vol. 243. p. 849-855. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2014.05.085>.
7. Соболев В. И., Гаскин В. В., Снитко А. Н. Динамика и сейсмостойкость зданий и сооружений. Часть 1: Многоэтажные здания. Иркутск: Изд-во Иркутского университета, 1992. 216 с.
8. Петров В. В., Кривошейн И. В. Методы расчета конструкций из нелинейно-деформируемого материала. М.: АСВ, 2009. 206 с.
9. Соболев В. И. Дискретно-континуальные динамические системы и виброизоляция промышленных грохотов. Иркутск: Изд-во Иркутского государственного технического университета, 2002. 202 с.
10. Biryukov V. N., Semernik I. V. Testing of oscillating circuits ODE solving methods // Radiation and Scattering of Electromagnetic Waves (RSEMW). 2017. p. 268-271. <https://doi.org/10.1109/RSEMW.2017.8103646>.
11. Рутман Ю. Л., Островская Н. В. Динамика сооружений: сейсмостойкость, сейсмозащита, ветровые нагрузки. СПб.: СПбГАСУ, 2019. 253 с.

REFERENCES

1. Baltina AM. Evaluation of the efficiency of expenditures of state (municipal) institutions. *Finansy i kredit = Finance and credit*. 2011;13(445):57-62. (In Russ.).
2. Suyumbayev HU, Nogerov IA, Shogenov BV, Makshaeva MI. Reliability assessment of NPP equipment in the line-spectral theory of seismic. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya = Modern problems of science and education*. 2015;2-1:172. (In Russ.).
3. Beléndez A, Beléndez T, Martínez FS, Pascual C, Álvarez ML, Arribas E. Exact solution for the unforced Duffing oscillator with cubic and quintic nonlinearities. *Nonlinear Dynamics*. 2016;86:1687-1700. <https://doi.org/10.1007/s11071-016-2986-8>.
4. Kovacic I, Brennan MJ. The Duffing Equation: Nonlinear Oscillators and their Behaviour. John Wiley and Sons; 2011. 392 p.
5. Beléndez A, Hernández A, Beléndez T, Pascual C, Álvarez ML, Arribas E. Solutions for Conservative Nonlinear Oscillators Using an Approximate Method Based on Chebyshev Series Expansion of the Restoring Force. *Acta Physica Polonica A*. 2016;130(3):667-678. <https://doi.org/10.12693/APhysPolA.130.667>.
6. Elías-Zúñiga A. "Quintication" method to obtain approximate analytical solutions of non-linear oscillators. *Applied Mathematics and Computation*. 2014;243:849-855. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2014.05.085>.
7. Sobolev VI, Gaskin VV, Snitko AN. Dynamics and seismic resistance of buildings and structures. Part 1: Multi-storey buildings. Irkutsk: Irkutsk University Publ.; 1992. 216 p. (In Russ.).
8. Petrov VV, Krivoshein IV. Methods for calculating structures made of non-linearly deformable material. Moscow: DIA; 2009. 206 p. (In Russ.).
9. Sobolev VI. Discrete-continuous dynamic systems and vibration isolation of industrial screens. Irkutsk: Irkutsk State Technical University; 2002. 202 p. (In Russ.).
10. Biryukov VN, Semernik IV. Testing of oscillating circuits ODE solving methods. *Radiation and Scattering of Electromagnetic Waves (RSEMW)*. 2017. p. 268-271. <https://doi.org/10.1109/RSEMW.2017.8103646>.
11. Rutman YL, Ostrovskaya NV. Dynamics of structures: seismic resistance, seismic protection, wind loads. St. Petersburg: SPbGASU; 2019. 253 p. (In Russ.).

Информация об авторах

В. И. Соболев,

доктор технических наук, доцент, профессор
кафедры механики и сопротивления
материалов,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
e-mail: vladsobol@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0916-1604>

Д. А. Кармазинов,

студент,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
e-mail: dkarmazinov@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-1803-1270>

Вклад авторов

Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Соболев В. И. несет ответственность за плагиат.

Information about the authors

Vladimir I. Sobolev,

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

Danil A. Karmazinov,

Student,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,
e-mail: dkarmazinov@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-1803-1270>

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article. Sobolev V. I. bears the responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Статья поступила в редакцию 30.06.2022.
Одобрена после рецензирования 14.07.2022.
Принята к публикации 18.07.2022.

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 30.06.2022.
Approved after reviewing 14.07.2022.
Accepted for publication 18.07.2022.



**Математические методы обоснования и логическое моделирование
ресурсосберегающей системы экологически безопасного жизнеобеспечения**

© Эдуард Станиславович Цховребов¹, Сергей Николаевич Костарев^{2,3,4},
Татьяна Геннадьевна Середа³, Фелюз Хайдарович Ниязгулов⁵

¹Академия инженерных наук им. А. М. Прохорова, г. Москва, Россия

²Пермский военный институт войск национальной гвардии Российской Федерации,
г. Пермь, Россия

³Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика
Д. Н. Прянишникова, г. Пермь, Россия

⁴Пермский институт ФСИН России, г. Пермь, Россия

⁵Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Костарев Сергей Николаевич, iums@dom.raid.ru

Аннотация. Цель работы заключается в формировании теоретических основ комплексной оценки экологической опасности отходов, образующихся в процессе жизнеобеспечения селитебных территорий, и обосновании ресурсосберегающей (ресурсовосстановительной) системы, направленной на обеспечение состояния защищенности природной среды и жизненно важных интересов человека от антропогенного воздействия отходов, создание благоприятных условий жизнедеятельности населения. Проведенное исследование базируется на применении математических методов оценки системы экологически безопасного жизнеобеспечения населенных пунктов: математической логики, векторной алгебры. Обосновано положение о том, что формирование ресурсосберегающей системы, не включающей отходы в качестве составляющего её элемента, обеспечивает целостность замкнутого материально-сырьевого цикла и, кроме того, сводит к нулю образование материальной массы отходов – источника экологической опасности – как количественного результата функционирования означенной системы. Также показано: на объектах жизнеобеспечения, где организована система обращения со строительной и иной продукцией на последней стадии жизненного цикла в качестве вторичных ресурсов, а не опасных отходов, направляемых на размещение в природную среду, на селитебных территориях экологическая опасность может быть предотвращена. Полученные результаты исследования могут быть использованы при экологическом обосновании концепций, стратегий, программ, проектов федерального, регионального и отраслевого уровня в области ресурсосбережения, обращения с отходами и вторичными ресурсами, обеспечения экологической безопасности селитебных территорий.

Ключевые слова: экологическая безопасность, охрана окружающей среды, ресурсосбережение, отходы производства и потребления, жизнеобеспечение населенных пунктов, математическая логика

Для цитирования: Цховребов Э. С., Костарев С. Н., Середа Т. Г., Ниязгулов Ф. Х. Математические методы обоснования и логическое моделирование ресурсосберегающей системы экологически безопасного жизнеобеспечения // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 3. С. 394–407. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-3-394-407>.

Original article

**Mathematical methods of substantiating and logical modelling of a resource-saving
environmentally safe critical infrastructure system**

**Eduard S. Tshovrebov¹, Sergey N. Kostarev^{2,3,4}, Tatiana G. Sereda³,
Felys H. Niyazgulov⁵**

¹A. M. Prokhorov Academy of Engineering Sciences, Moscow, Russia

²Perm Military Institute of National Guard Troops of the Russian Federation, Perm, Russia

³Perm State Agro-Technological University named after Academician D. N. Pryanishnikov, Perm, Russia

⁴Perm Institute of the FPS of Russia, Perm, Russia

⁵Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia

Corresponding author: Sergey N. Kostarev, iums@dom.raid.ru

Abstract. In this work, a theoretical basis for a comprehensive assessment of the environmental hazard of wastes, which are formed during the functioning of critical infrastructure in residential territories, is developed. In addition, a resource-saving (resource-recovering) system is proposed for ensuring the protection of natural environment and vitally important human interests from the anthropogenic impact of wastes, thus creating favourable conditions for the vital activity of a population. The study was conducted using mathematical methods, such as mathematical logic and vector algebra, for assessing the system of an ecologically safe critical infrastructure of populated areas. It is argued that the formation of a resource-saving system, which does not include wastes as its constituent element, provides the integrity of a closed material-raw cycle. Moreover, such a system reduces the formation of waste material masses (sources of environmental hazard) as a quantitative result of the system to zero. It is shown that environmental hazards in residential areas can be prevented in those places, where a system of processing construction and other products at the last life cycle stage as secondary resources is implemented and no hazardous wastes are forwarded for disposal in the natural environment. The obtained results can be used when assessing the environmental safety of concepts, strategies, programmes and projects at federal, regional and sectoral levels in the field of resource saving, waste and secondary resources management, as well as for ensuring the environmental safety of residential areas.

Keywords: environmental safety, environmental protection, resource conservation, production and consumption waste, life support of settlements, mathematical logic

For citation: Tshovrebov E. S., Kostarev S. N., Sereda T. G., Niyazgulov F. H. Mathematical methods of substantiating and logical modelling of a resource-saving environmentally safe critical infrastructure system. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2022;12(3):394-407. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-3-394-407>.

Введение

Глобальная задача обеспечения экологической и ресурсной безопасности России на первый план выдвигает актуальные вопросы создания природоподобной среды жизнедеятельности, предполагающего поэтапное поступательное восстановление естественного ресурсооборота, нарушенного как современными технологиями, применение которых вредит естественной природной среде, так и воздействием субъективного человеческого фактора, связанного с нерациональным, расточительным использованием невозобновляемых природных ресурсов, нарушением экологических требований, нормативов, правил [1–3].

В этом плане одной из важнейших экологических задач является предотвращение загрязнения и захламления отходами производства и потребления природных и селитебных территорий, что приводит к нарушению, деградации, уничтожению экологических систем и природных объектов, составляющих национальное богатство нашей великой страны.

Одним из основных путей решения значимой ресурсно-экологической проблемы, по мнению авторов, может служить разработка и внедрение ресурсовосстановительной системы, обеспечивающей экологическую безопасность селитебных территорий от воздействия отходов за счет извлечения и повторного использования их ресурсной составляющей (вторичных ресурсов) с предотвращением попадания такого рода антропогенных объектов в природную среду.

С учетом неопределенности начальных и граничных условий, факторов, многокомпонентности, многоконтурности систем и процессов обращения с отходами, многопараметричности составляющих показателей, не дающих возможности напрямую сформировать оптимальные математические модели замкнутого ресурсного цикла обращения продукции, сырья в единой эффективной системе, в работе сделана попытка создать конфигурацию замкнутого цикла процессов жизнеобеспечения с исключением нахождения в ней отходов в виде

источников экологической опасности как излишнего элемента замкнутой ресурсоэффективной модели жизнеобеспечения селитебных территорий.

Методы

Материалами для проведения исследования выступили: опубликованные труды отечественных и зарубежных исследователей, собственные результаты исследований авторов в области проблематики экологической безопасности территорий и обращения с опасными отходами.

Стратегия, гипотеза исследования коррелируются с принятыми в мировом сообществе принципами: *Green economy* («Зеленая экономика»), *Circular economy* (экономика замкнутого цикла), *Zero waste* (ноль отходов), энерго- и ресурсосбережения [4–8], опираются на достигнутые результаты исследований в области программ и проектов развития «зеленого» строительства, обеспечения охраны окружающей среды и экологической безопасности [9–13]. В работе использованы полученные результаты ранее опубликованных трудов авторов в области разработки математических моделей экологически безопасных систем и процессов [14–17], геоинформационных исследований, мониторинга, управления, регулирования обращения отходов, создания концепций и программ повторного применения их ресурсного потенциала [18–22]. Математический аппарат настоящего исследования базируется на методах: системного анализа, математической логики, векторной алгебры.

Результаты и их обсуждение

Научная гипотеза исследования базируется на предположении, что решение проблемы обеспечения экологической безопасности селитебных территорий не представляется возможным без развития ресурсовосстановительной системы, реализующей превентивный механизм защищенности природной среды и человека от воздействий продукции строительства и городского хозяйства на конечной стадии ее жизненного цикла. В целях обоснования выдвинутой гипотезы, составляющая ее совокупность положений структурирована как ряд утверждений, характеризующих причинно-следственную связь явлений отходов и экологической опасности, подлежащих доказательству на предмет логической непротиворечивости с применением математических методов.

Лемма 1. Экологическая безопасность процессов жизнеобеспечения достигается при

отсутствии отходов в виде структурной составляющей антропогенных объектов окружающей среды.

Доказательство. Согласно законодательному определению, антропогенный объект представляет собой «объект, созданный человеком для обеспечения его социальных потребностей и не обладающий свойствами природных объектов»¹.

Термин «отходы» трактуется как «вещества или предметы, которые образованы в процессе производства, выполнения работ, оказания услуг или в процессе потребления...»², т.е. они являются результатом жизнедеятельности человека, обладают свойствами, токсичными для здоровья человека и представляющими опасность для природной среды, исключая проявление природных свойств. Отсюда логически вытекает, что отходы есть антропогенный объект.

Также, согласно законодательному определению, окружающая среда выступает в виде «совокупности компонентов природной среды, природных и природно-антропогенных объектов, а также антропогенных объектов»³.

Выразим математически определение «окружающая среда», обозначив его составляющие в символической форме: ОС – окружающая среда; КПС – компоненты природной среды («земля, недра, почвы, поверхностные и подземные воды, атмосферный воздух, растительный, животный мир и иные организмы, а также озоновый слой атмосферы и околоземное космическое пространство, обеспечивающие в совокупности благоприятные условия для существования жизни на Земле»); ПО – природные объекты; ПАО – природно-антропогенные объекты; ПС – природная среда («совокупность компонентов природной среды, природных и природно-антропогенных объектов»):

$$\begin{aligned} \text{ОС} &= (\text{КПС} + \text{ПО} + \text{ПАО}) + \text{АО} = \\ &= \text{ПС} + \text{АО}. \end{aligned} \quad (1)$$

При этом «природоподобность» и «биопозитивность» системы жизнеобеспечения, базирующиеся на предупреждении, минимизации возможного негативного воздействия хозяйственной деятельности на природу и человека, обеспечивают максимальное приближение свойств и характеристик данного процесса к экологически безопасным в отношении природных объектов, придание антропогенным объектам природных свойств, приводя в действие структурный процесс гармонизации: $\text{ОС} \rightarrow \text{ПС}$. Исходя из выражения (1)

¹Об охране окружающей среды: Федеральный закон № 7-ФЗ от 10.01.2002.

²Об отходах производства и потребления: Федеральный закон № 89-ФЗ от 24.06.1998.

³Об охране окружающей среды: Федеральный закон № 7-ФЗ от 10.01.2002.

следует, что, с математической точки зрения, данный процесс достигается при: $AO \rightarrow 0$.

С точки зрения ресурсно-экологического подхода, в процессе жизнеобеспечения среди иных антропогенных объектов (основные фонды, средства производства, нарушенные и видоизмененные природные объекты, строительная и иная продукция) отходы производства и потребления, обладающие свойствами опасности и токсичности, с одной стороны, несут наибольшую угрозу защищенности живой и неживой природы, с другой, в случае преобразования их состояния, негативных свойств и характеристик в безопасные и качественно полезные, – могут являться источником замещения ценных невозобновляемых КПС.

Таким образом, при уменьшении количества антропогенных объектов за счет предупреждения образования отходов (О) происходит одновременно сохранение стратегического запаса природных ресурсов из состава КПС, замещаемых в обороте ресурсной составляющей отходов:

$$(\forall \text{ КПС } \exists (O \in AO)) \wedge (O \Leftrightarrow \text{КПС}) \Rightarrow \\ \Rightarrow OC \rightarrow PC \wedge \text{КПС} \rightarrow \text{const.} \quad (2)$$

В результате доказано: осуществление жизнеобеспечения селитебных территорий методами и способами, реализующими механизм предупреждения образования в структуре окружающей среды наиболее опасного элемента (отходов) за счет их технологической трансформации в общественно полезные ресурсы обеспечивает состояние защищенности природной среды: а) от воздействия наиболее экологически опасных антропогенных объектов; б) изъятия её компонентов (растительный мир, вода, полезные ископаемые).

Установленной в ходе исследования важной особенностью образования антропогенных объектов как источника экологической опасности служит наличие в их составе твердых загрязняющих веществ, извлеченных из выбросов и сбросов, идентифицируемых в нормативно-технической документации в качестве отходов. Это предопределило принятие допущения о том, что проблемы обеспечения экологической безопасности в строительстве и городском хозяйстве, условно отнесенные к загрязнению вод, атмосферного воздуха, возможно исследовать под углом зрения предметной области ресурсосбережения, обращения с ресурсной составляющей отходов, подлежащей повторному использованию в хозяйственном обороте.

Лемма 2. Если ресурсную составляющую антропогенных объектов (использованной продукции) изначально идентифицировать через

понятие «отходы», то опасные свойства, присущие по определению каждому отходу, будут неотъемлемыми для каждого получаемого из неё полезного ресурса, что не позволяет их дальнейшее экологически безопасное повторное использование.

Пусть $P(x)$ – извлеченная из использованной продукции ресурсная составляющая – потенциально используемые вторичные ресурсы; $O(x)$ – смешанные опасные отходы завершившей срок эксплуатации, бывшей в употреблении продукции.

Сформируем составляющие логической формулы:

$\forall x(O(x) \rightarrow P(x))$ – все опасные отходы являются материальными ресурсами;

$(\forall x O(x) \rightarrow \forall x P(x))$ – все опасные свойства отходов характерны и для вторичных ресурсов, выделяемых из смешанных отходов, что не допускает безопасное повторное использование таких ресурсов в отношении природной среды.

Тогда окончательная логическая формула будет иметь вид:

$$\forall x(O(x) \rightarrow P(x)) \rightarrow (\forall x O(x) \rightarrow \forall x P(x)). \quad (3)$$

Приведем доказательство истинности и общезначимости выражения (3) для предметной области. Упростим логическую формулу, применяя равносильные преобразования (4):

$$\begin{aligned} \forall x(O(x) \rightarrow P(x)) &\rightarrow (\forall x O(x) \rightarrow \forall x P(x)) \equiv \\ &\equiv \overline{\forall x(O(x) \rightarrow P(x))} \vee (\forall x O(x) \rightarrow \forall x P(x)) \equiv \\ &\equiv \overline{\forall x(\overline{O(x)} \vee P(x))} \vee (\forall x O(x) \rightarrow \forall x P(x)) \equiv \\ &\equiv \exists x(\overline{\overline{O(x)} \vee P(x)}) \vee (\exists x \overline{O(x)} \vee \forall x P(x)) \equiv \\ &\equiv \exists x(O(x) \wedge \overline{P(x)}) \vee (\exists x \overline{O(x)} \vee \forall x P(x)) \equiv \\ &\equiv \exists x((O(x) \wedge \overline{P(x)}) \vee \overline{O(x)}) \vee \forall x P(x) \equiv \\ &\equiv (\exists x \overline{O(x)} \vee \exists x \overline{O(x)}) \vee \forall x P(x) \equiv \\ &\equiv (\exists x \overline{O(x)} \vee \forall x \overline{O(x)}) \vee \forall x P(x) \equiv \exists x O(x) \vee 1 \equiv 1. \quad (4) \end{aligned}$$

Таким образом, доказана истинность и общезначимость логической формулы для исследуемой предметной области в части необходимости идентификации строительной и иной продукции на последней стадии жизненного цикла не в виде отходов, обладающих опасными свойствами, а в качестве безопасной ресурсной составляющей с созданием ресурсовосстановительной системы предотвращения экологической опасности таких антропогенных объектов.

Лемма 3. Экологически безопасное жизнеобеспечение (состояние нулевой опасности негативного воздействия отходов) обеспечивается при физическом отсутствии отходов как источника экологической опасности в пространстве или при их наличии, но в неопасном для природной среды состоянии.

Доказательство. Пусть: O – источник экологической опасности: отходы; $\bar{O}$ – физическое отсутствие отходов как источника экологической опасности; $D(O)$ – состояние отходов, создающее в процессе жизнеобеспечения экологическую опасность. Логическая формула экологически безопасного жизнеобеспечения в отношении воздействия отходов примет вид:

$$F = (\bar{O} \vee (\forall O \exists D(O))) \rightarrow \bar{D(O)}. \quad (5)$$

Доказанные первоначальные утверждения, в рамках выдвинутой гипотезы исследования, послужили основой для доказательства истинности впервые сформулированных теорем в предметной области исследования.

Теорема 1. Опасные отходы являются излишним элементом материально-сырьевого баланса цикличного обращения ресурсов в системе жизнеобеспечения, и предотвращение их возникновения повысит целостность и экологическую безопасность системы.

Разделим процесс доказательства утверждения на два этапа. Рассмотрим поэтапный процесс обращения завершившей срок эксплуатации, бывшей в употреблении,

использованной строительной и иной продукции не в виде опасных для природной среды отходов, а в качестве ресурсов – потенциальных источников удовлетворения потребностей общества: раздельный сбор и изолированное накопление в источниках образования → технологическая обработка → утилизация (рецилинг, рекуперация, регенерация) + энергетическая утилизация (высоко- и среднетемпературное сжигание с получением энергии). Формализуем с помощью методов и обозначений векторной алгебры и теории поля суть основных процессов обращения с использованными веществами и предметами в рамках иерархии приоритетов экологически безопасного обращения с ними (табл. 1).

Материально-сырьевые потоки между исследуемыми процессами показаны на рис. 1. Объединим означенные процессы в единую систему материально-сырьевого баланса цикличного обращения ресурсов. Такое объединение процессов в виде четырех треугольников с точки зрения понятий геометрии и стереометрии возможно только в геометрическую фигуру – тетраэдр.

Таблица 1. Векторное отображение основных процессов обращения использованной строительной и иной продукции

Table 1. Vector display of the main processes of circulation of used construction and other products

Процессы обращения	Обозначения и допущения
Раздельный сбор и изолированное накопление в источниках образования (объекты жизнеобеспечения)	Входящий поток: П – бывшая в употреблении, завершившая срок эксплуатации строительная и иная продукция; СН – раздельный сбор и изолированное накопление. Выходящий поток процесса: ВМР – вторичные материальные ресурсы. ВЭР – вторичные энергетические ресурсы (часть использованных предметов и веществ органико-синтетического происхождения, которая в силу экологической опасности, технической невозможности, экономической нецелесообразности не используется в качестве ВМР). Допущения: А. Понятие «ресурсы» является первичным (родовым) по отношению ко вторичному (производному) понятию «сырье». Б. ВМР могут впоследствии быть использованы как для выпуска продукции в качестве вторсырья, так и при производстве работ (рекультивант, заполнитель, укрепитель и проч.)
Обработка	ОБ – технологическая обработка ВМР. Входящий поток: ВМР. Выходящие потоки: ВС – вторичное сырьё, а также не утилизируемые остатки синтетического, органического, смешанного происхождения – ВЭР
Утилизация (повторное применение)	У – утилизация. Входящий поток: ВС. Выходящие потоки: а) П (продукция и работы) с применением вторичного сырья; б) неиспользуемые остатки, полученные при производстве продукции, экономически нецелесообразные, технически невозможные для применения в качестве побочной продукции или вторичного сырья, но допустимые для энергетической утилизации – ВЭР
Энергетическая утилизация	Э – энергетическая утилизация. Функциональный результат: а) получаемая энергия из альтернативных источников в качестве продукции; б) ВМР в виде шлака для производства работ, извлеченных металлов, минеральной части

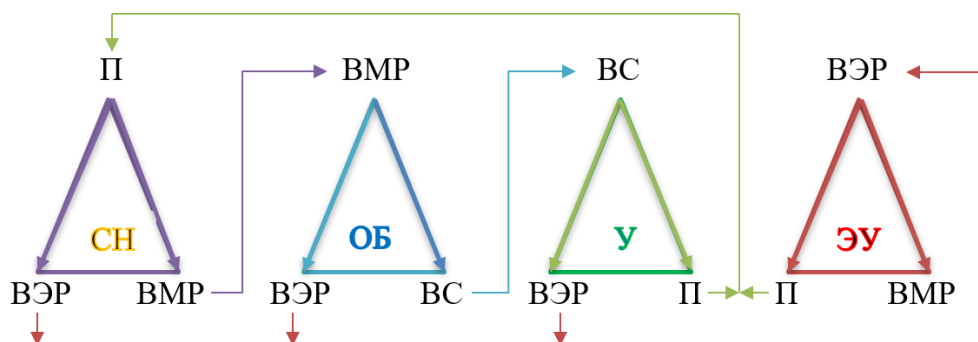


Рис. 1. Движение материальных потоков в технологических процессах материально-ресурсного обращения

Fig. 1. Movement of material flows in technological processes of material and resource circulation

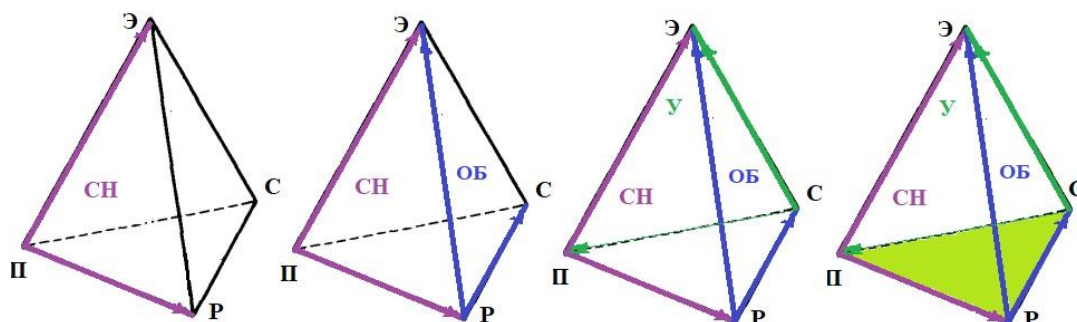


Рис. 2. Последовательное векторное отображение процессов замкнутого ресурсно-сырьевого цикла обращения строительной и иной продукции

Fig. 2. Sequential vector representation of the processes of a closed resource and raw materials cycle of circulation of construction and industrial products

Иллюстрируем на рис. 2 векторное отображение последовательности технологических процессов, измеряемых в единицах массы протекающих в них потоков, обозначив в вершинах тетраэдра конечные продукты технологических преобразований материально-сырьевых ресурсов с введением для удобства векторного отображения следующих символов: ВМР – Р, ВЭР – Э, ВС – С, остальные при этом оставив без изменения.

Принцип построения замкнутой системы основывается на законах сохранения массы и энергии: вся масса завершившей срок эксплуатации строительной и иной продукции преобразуется в конечном счете во вторичное сырье и альтернативные источники энергии, в свою очередь, являющиеся материально-энергетическим ресурсом для нового производства продукции, работ, получения энергии – в рамках многократного и многоконтурного производственно-хозяйственного цикла. Как следует из схемы последовательного отражения технологических процессов, на последнем этапе в основании тетраэдра фиксируется векторное отображение целостного процесса замкнутого ресурсного цикла сырья и продукции без

наличия отходов в качестве элемента « $\text{П} \rightarrow \text{Р} \rightarrow \text{С} \rightarrow \text{П}$ », что и требовалось доказать. На втором этапе доказательства применим метод от противного. Предположим, что отходы служат составной материальной частью ресурсного цикла, а действующие в настоящее время понятия отходов как последнего этапа жизненного цикла строительной, иной продукции, а также источника вторичных материальных ресурсов, из которых вырабатывается вторичное сырье, верны.

Проверим логическую истинность утверждения. Сформулируем его для проверки тождественной истинности следующим образом: если использованную продукцию на последнем этапе жизненного цикла изначально идентифицировать в качестве опасных отходов и впоследствии выделять из них вторичное сырье, то оно будет служить источником получения безопасной продукции.

Сформируем логические составные части выражения, обозначающие технологические операции обращения с отходами: ($\text{П} \rightarrow \text{О}$) – смешанного сбора использованной продукции в виде отходов; ($\text{О} \rightarrow \text{С}$) – обработки на сортировочных комплексах; ($\text{С} \rightarrow \text{П}$) – утилизации:

$$\begin{aligned}
 (\Pi \rightarrow O) \wedge (O \rightarrow C) \rightarrow (C \rightarrow \Pi) &\equiv (\overline{\Pi} \vee O) \wedge (\overline{O} \vee C) \rightarrow (\overline{C} \vee \Pi) \equiv (\overline{\Pi} \vee O) \wedge (\overline{O} \vee C) \vee (\overline{C} \vee \Pi) \equiv \\
 &\equiv (\overline{\Pi} \vee O) \vee (\overline{O} \vee C) \vee (\overline{C} \vee \Pi) \equiv (\overline{\Pi} \vee \overline{O}) \vee (\overline{O} \vee \overline{C}) \vee (\overline{C} \vee \Pi) \equiv (\Pi \vee \overline{O}) \vee (O \vee \overline{C}) \vee (\overline{C} \vee \Pi) \equiv \\
 &\equiv \underbrace{\Pi \vee (\Pi \vee \overline{O})}_{\Pi} \vee \underbrace{\overline{C} \vee (O \vee \overline{C})}_{\overline{C}} \equiv \Pi \vee \overline{C}
 \end{aligned}$$

Из последовательного преобразования логических конструкций следует, что продукция с применением отходов либо вторсырья не является равноценной понятию продукции, изготовленной из материальных ресурсов природного происхождения, при этом отходы не могут служить целевым результатом обращения продукции, а сформулированное в виде гипотезы данное логическое выражение не является тождественно истинным. Означенное подтверждается и практикой современной системы смешанного сбора городских отходов, результатом которой становится поступление их подавляющего количества на захоронение.

На основании математически доказанных в настоящей работе утверждений, идеализированная концептуальная модель экологически безопасного обращения вторичных ресурсов в

системе жизнеобеспечения населенных пунктов сформирована с учетом исключения отходов: а) в качестве антропогенного объекта окружающей среды; б) элемента замкнутого цикла ресурсно-сырьевого баланса в системе жизнеобеспечения селитебных территорий; в) опасного состояния завершившей срок эксплуатации, использованной строительной и иной продукции на последней стадии жизненного цикла для природной среды. Разработанная с применением теории концептуального моделирования, означенная модель многоуровневой комплексной организационно-технической схемы обращения вторичных ресурсов, отражающая структуру и функционал участников системы обращения «отходы – вторичные материальные и энергетические ресурсы – вторичное сырьё», представлена на рис. 3.

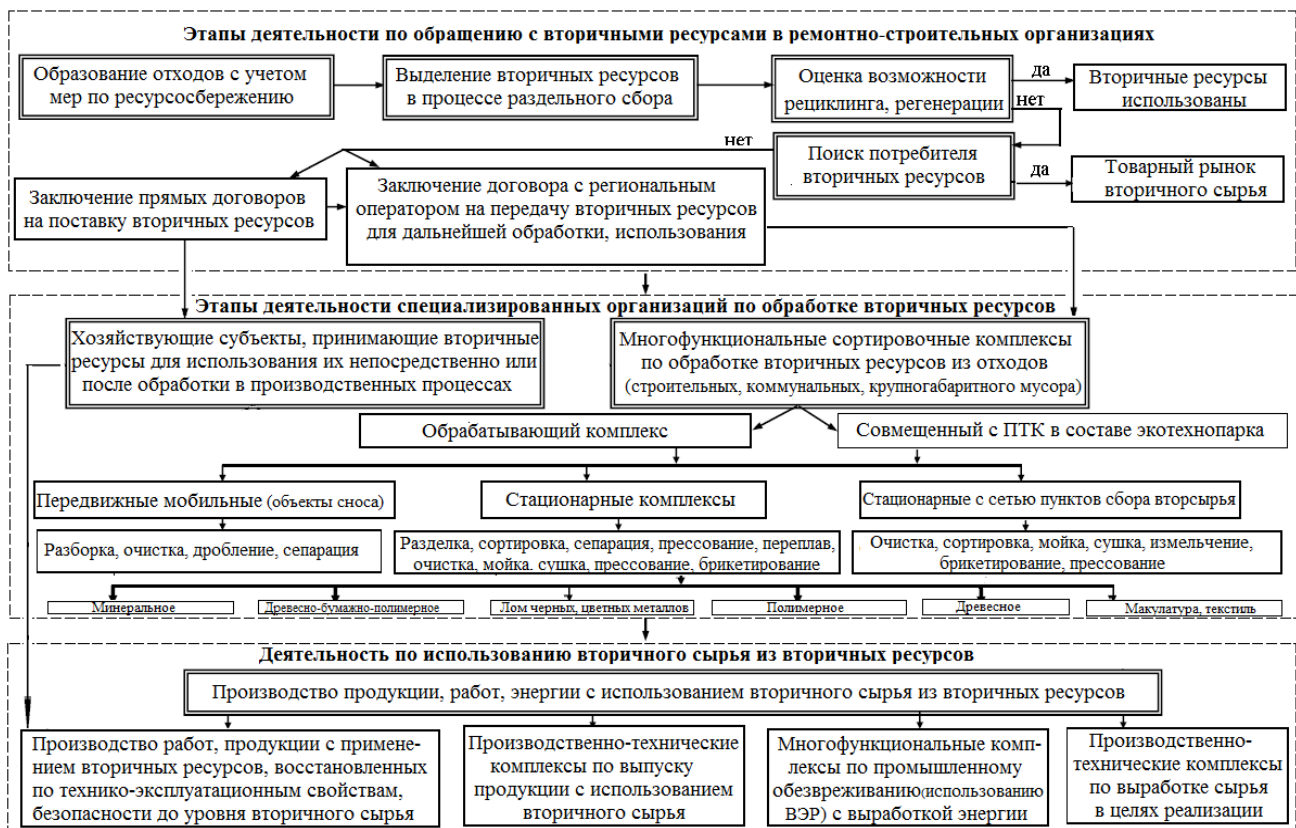


Рис. 3. Идеализированная модель организационно-технической схемы обращения с вторичными ресурсами в процессе жизнеобеспечения

Fig. 3. Idealized model of the organizational and technical scheme of handling secondary resources in the process of life support

Основой эффективного функционирования организационно-технической системы обращения с вторичными ресурсами представляется межотраслевое, межведомственное и межсубъектное взаимодействие, реализуемое на следующих организационно-технических, правовых, информационных и экономических платформах:

– действующий институт федерального, региональных операторов в области обращения с отходами;

– локально создаваемые и внедряемые инновационные институты межрегиональных операторов обращения со всеми видами вторичных ресурсов и вторичным сырьем, извлекаемых из всех видов отходов жизнеобеспечения населенных пунктов, а не только с твердыми коммунальными отходами;

– научно-промышленные кластеры или симбиозы на базе государственного частного партнерства и иных форм экономической деятельности, эффективно функционирующие в наукоградах.

Структурный состав субъектов формируемой организационно-технической системы обращения с вторичными ресурсами на уровне муниципальных образований и регионов приведен на рис. 4. Разработанные критерии и показатели реализации организационно-технической системы обращения с вторичными ресурсами представлены в табл. 2.

Концептуальные отличия предлагаемой модели организационно-технической схемы от действующих в регионах территориальных схем обращения с отходами представлены в табл. 3.

Таблица 2. Критерии и показатели реализации организационно-технической системы обращения с вторичными ресурсами

Table 2. Criteria and indicators for the implementation of the organizational and technical system for handling secondary resources

Критерии	Показатели
Организационно-экономические	а) организация единого функционального организационно-правового и технико-экономического пространства: информационные и энергетические сети, система снабжения, институциональная поддержка, компетенции; б) устойчивые сбалансированные материально-сырьевые и энергетические потоки и связи между группами предприятий, инфраструктурными объектами; в) функциональный состав организационно-технической системы обеспечивает наличие хозяйствующих субъектов с видами деятельности: – производственно-хозяйственная (в результате которой образуются отходы производства и потребления); сбор, накопление, обработка, утилизация, обезвреживание отходов; – реализация вторичных материальных и энергетических ресурсов; – изготовление продукции, производство работ, оказание услуг, генерация энергии с использованием вторичных материальных и энергетических ресурсов; – разработка технологий, проектирование и выпуск техники, оборудования, машин, механизмов, необходимых для обеспечения технико-технологических процессов производственной деятельности групп предприятий; – транспортно-логистическая, образовательная, научно-исследовательская, опытно-конструкторская деятельность; – консалтинговые, маркетинговые и коммерческие услуги
Технико-экономические	а) организация оптимизированной сбалансированной, бесперебойной циклической организационно-технической схемы на всех стадиях обращения с отходами и ВР, а также получения и реализации из них вторичного сырья; б) уровень использования ресурсной составляющей твердых коммунальных и строительных отходов не менее 68–70 % от количества образованных (на уровне ведущих стран мира и в соответствии с целевыми показателями Стратегии к 2030 г.); в) выпуск по результатам деятельности хозяйствующих субъектов системы вторичных материальных и энергетических ресурсов, обладающих в качестве вторичного сырья высокими потребительскими технико-эксплуатационными, иными свойствами и характеристиками, восстановленными до требований нормативно-технической документации к сырью, материалам, топливу, в отношении которых имеется экологическая допустимость, техническая возможность и экономическая целесообразность использования, обеспечивающая при этом устойчивую востребованность и гарантированный сбыт вторичного сырья на отечественном и международном рынке

Окончание таблицы 2

Критерии	Показатели
Финансово-экономические	а) взаимовыгодная договорная система финансово-экономической деятельности для всех групп предприятий, обеспечивающая необходимый для устойчивого развития хозяйствующих субъектов экономический результат (прибыль, рентабельность и пр.); б) снижение финансовой нагрузки на хозяйствующие субъекты системы по налогам и сборам, платежам, штрафным санкциям, в т.ч. в сфере экологии; в) положительные инвестиционные индексы и показатели: бюджетной эффективности, макроэкономического эффекта, внутренней доходности, рентабельности, чистой текущей приведенной стоимости, динамический срок окупаемости проекта не более 4–5 лет; г) достаточный для устойчивого развития хозяйствующих субъектов системы уровень выручки от реализации произведенной с использованием вторичных ресурсов продукции (работ), в общем объеме выручки от произведенной продукции (работ)
Социально-экономические	а) создание рабочих мест; б) высокий уровень оплаты труда; в) полная обеспеченность сотрудников социальным пакетом, жильем, детскими дошкольными и образовательными учреждениями; г) содействие в создании благоприятной среды для развития малого и среднего бизнеса; повышения качества жизни населения, улучшения инвестиционного климата, обеспечения занятости населения, развития конкурентоспособных промышленных производств; д) предоставление бизнесу качественных объектов производственной недвижимости, инфраструктуры для эффективного развития



Рис. 4. Субъекты предлагаемой организационно-технической системы обращения с вторичными ресурсами

Fig. 4. Subjects of the proposed organizational and technical system for handling secondary resources

Таблица 3. Концептуальные отличия предлагаемой организационно-технической схемы от действующих территориальных схем обращения отходов

Table 3. Conceptual differences of the proposed organizational and technical scheme from the existing territorial waste management schemes

Параметры	Действующие схемы	Предлагаемая схема
Вид деятельности	Обращение с опасными отходами	Обращение с ресурсной составляющей отходов (ВМР, ВЭР), вторсырьем
Задействованные приоритеты иерархии обращения с отходами	Обработка, утилизация, обезвреживание, а также экологически опасный вид обращения: размещение (хранение + захоронение)	Доминантные: максимальное использование сырья, предупреждение, сокращение образования, снижение класса опасности. Обеспечивающие: обработка, утилизация, обезвреживание
Область регулирующего законодательства	Преимущественно экологическое и санитарно-эпидемиологическое	Преимущественно: экономического развития, промышленной политики, технического регулирования

Окончание таблицы 3

Параметры	Действующие схемы	Предлагаемая схема
Идентификация предмета деятельности	Отходы производства и потребления. Вторичные ресурсы как отходы, подлежащие переработке	Изначальная идентификация использованных предметов, веществ в источниках образования в качестве материально-сырьевых ресурсов
Преобладающая схема сбора	Преимущественно смешанная	Селективный сбор, раздельное, изолированное накопление
Особенности раздельного сбора	«Сухие» и «влажные» либо 4-секционные контейнеры	Интеграция в региональную схему обработки и утилизации: с локализацией технических систем сбора, транспортных потоков: отходы 1 и 2 класса опасности; биоразлагаемые; по материальному составу ТКО, КГМ, строительные, электротехнического, электронного оборудования; горючие / негорючие; применение в виде ВМР или ВЭР
Методы и объекты энергетической утилизации	Объекты с температурой сжигания 1100–1200 °С, не обеспечивающей полное разложение диоксинов, фенола, формальдегида	Объекты высокотемпературной (1250–1300 °С) энергоутилизации ВЭР, содержащих синтетические полимеры; среднетемпературной (800–1100 °С) – ВЭР органического содержания
Отходо-перерабатывающая технологическая база	КПО как объекты сортировки преимущественно ТКО 4 и 5 класса опасности, полигоны хранения хвостов сортировки, объекты энергетической утилизации	Многофункциональные комплексы приема всех видов городских отходов 3, 4, 5 классов опасности с полным набором технологических операций обработки до стандартизированного вторсырья. Производственно-технические комплексы выпуска продукции с его применением. Объекты средне-, высокотемпературной утилизации. Предприятия городского хозяйства
Схемы перевозки	Преимущественно автомобильный транспорт	Смешанные автомобильные и железнодорожные перевозки
Состав, направления использования не утилизируемой части	Содержит все виды опасных составляющих: пластик, синтетические полимеры на органической основе, необработанные шлаки. Полигоны ТКО, объекты изолированного хранения отходов в природной среде	Смешанные части не утилизируемых отходов (без полимерной составляющей) + технологически преобразованные до малоопасного состояния золы, шлаки энергоутилизации в виде инертного малотоксичного материала на органической основе – в качестве рекультиванта полигонов
Расположение источников экологической опасности	Населенный пункт, предприятия переработки, мусоросжигания, полигоны хвостов сортировки	Инфраструктура по обработке, утилизации (в т.ч. энергетической), обезвреживанию отходов вне черты населенных пунктов

Реализация предлагаемой модели на базе применения инструментов экономического, нормативно-технического регулирования, организационно-управленческих решений, по мнению авторов, приведет к существенным в плане обеспечения благоприятных условий жизнедеятельности позитивным изменениям в процессе обращения с завершившей свой срок

эксплуатации строительной и иной продукцией как потенциальным источником экологической опасности:

– перемещение данной продукции за пределы селитебной территории, так как видом экономической деятельности ресурсовосстановительной системы жизнеобеспечения будет являться не обращение с экологически опасными

отходами, а отдельный сбор, временное накопление, заготовка, повторное использование безопасного вторичного сырья для нужд предприятий городской инфраструктуры, транспортирование на объекты промышленной обработки (многофункциональные сортировочные комплексы, расположенные вне населенного пункта и его санитарно-защитной зоны);

– предотвращение попадания использованной строительной и иной продукции на последней стадии жизненного цикла в природную среду на захоронение на полигоны и свалки в результате реализации замкнутого цикла ресурсно-сырьевого обращения;

– применение технологически преобразованной, не содержащей синтетических полимеры, инертной малотоксичной органоминеральной не утилизируемой части в виде «хвостов сортировки» – в качестве комплексного технического рекультиванта законсервированных и действующих полигонов захоронения в целях снижения их негативного воздействия на природную среду.

Заключение

Принципиально новым научным решением является заложенная в представленной концептуальной модели теоретическая база по трансформации общественных отношений в сфере

обращения с использованными в процессе жизнедеятельности предметами, веществами из преимущественно экологической в область экономического развития, технического регулирования, стандартизации, с определением направлений, механизмов и параметров устойчивого, экологически безопасного развития системы жизнеобеспечения селитебных территорий, её перехода на ресурсосберегающий технологический уклад. Основная научно-практическая ценность проведенного исследования, результаты которого подтвердили выдвинутую научную гипотезу, заключается в разработке теоретических положений, развитии методологии исследования функционирования инженерно-технической инфраструктуры городов не как фактора антропогенного воздействия отходов на окружающую среду, а в качестве источника общественно полезных для нужд городского хозяйства вторичных ресурсов, формирующей научно-методически обоснованный механизм развития ресурсо-восстановительной системы экологически безопасного жизнеобеспечения, реализующей состояние защищенности природной среды и человека от негативного влияния объектов строительства и городского хозяйства, благоприятные условия жизнедеятельности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Чертес К. Л., Шестаков Н. И. Современные биопозитивные технологии переработки отходов коммунально-строительного сектора // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. № 8. С. 1135–1146. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2020.8.1135-1146>.
2. Суздалева А. Л. Системная техноэкология и управляемые природно-технические системы // Безопасность в техносфере. 2016. Т. 5. № 3. С. 6–14. <https://doi.org/10.12737/21718>.
3. Ильичев В. А., Колчунов В. И., Бакаева Н. В., Кобелева С. А. Оценка экологической безопасности строительства на основе модели полного ресурсного цикла // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2016. № 4 (44). С. 169–176.
4. Hart J., Adams K., Giesekam J., Tingley D. D., Pomponi F. Barriers and drivers in a circular economy: the case of the built environment // Procedia CIRP. 2019. No. 80. p. 619-624. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.12.015>.
5. Domenech T., Bahn-Walkowiak B. Transition Towards a Resource Efficient Circular Economy in Europe: Policy Lessons from the EU and the Member States // Ecological Economics. 2019. Vol. 155. p. 7-19. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.11.001>.
6. Elgizawy S. M., El-Haggar S. M., Nassar K. Slum Development Using Zero Waste Concepts: Construction Waste Case Study // Procedia Engineering. 2016. Vol. 145. p. 1306-1313. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.168>.
7. Ehresman T., Okereke C. Environmental justice and conceptions of the green economy // International Environmental Agreements: Politics, Law and Economic. 2015. Vol. 15. Iss. 1. p. 13-27. <https://doi.org/10.1007/s10784-014-9265-2>.
8. Kirchherr J., Reike D., Hekkert M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions // Resources, Conservation and Recycling. 2017. No. 127. p. 221-232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>.
9. Kechichian E., Mi Hoon Jeong. Mainstreaming Eco-Industrial Parks / The World Bank Group. Washington, 2016. 131 p. <https://doi.org/10.1596/24921>.
10. Telichenko V., Benuzh A. Development green standards for construction in Russia // XXV Polish – Russian – Slovak Seminar “Theoretical Foundation of Civil Engineering”. Procedia Engineering. 2016. Vol. 153. p. 726-730. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.233>.
11. Regidor A. Proposals for public investment projects under the principle of sustainable

development // *Nóesis: Revista de Ciencias Sociales and Humanidades*. 2016. Vol. 25. Iss. 50. p. 23-48.

12. Goldstein B., Rasmussen F. N. LCA of Buildings and the Built Environment // Hauschild M., Rosenbaum R., Olsen S. (eds.). *Life Cycle Assessment. Theory and Practice*. Springer, 2018. p. 695-722. https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3_28.

13. Hertwich E., Lifset R., Pauliuk S., Heeren N. Resource Efficiency and Climate Change: Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future / United Nations Environment Programme, and International Resource Panel. Kenya, 2020. <https://www.unep.org/resources/report/resource-efficiency-and-climate-change-material-efficiency-strategies-low-carbon> (19.05.2022).

14. Sereda T. G., Kostarev S. N. Development of the automated workstation for the operator of the solid municipal wastes landfill // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 677(4). p. 042107. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/4/042107>.

15. Tshovrebov E., Velichko E., Kostarev S., Niyazgulov U. Mathematical model of environmentally friendly management of construction waste and waste of urban economy // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 937. p. 042062.

16. Костарев С. Н., Середя Т. Г. Проектирование комбинационного автомата для оценки безопасности источника опасности // *Вестник ПНИПУ. Безопасность и управление рисками*. 2016. № 4. С. 77–87.

17. Kostarev S. N., Tatarnikova N. A., Kochetova O. V., Sereda T. G. Development of a

sequence automaton for recognition of deviations indicators in diagnosis of natural systems // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 677 (4). p. 042004. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/4/042004>.

18. Kostarev S. N., Sereda T. G., Novikov A. V., Kochinov Y. A., Kochinova T. V. Development of an automaton based on rigid logic to control the irrigation system // *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 2094 (3). p. 032014. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2094/3/032014>.

19. Цховребов Э. С. Охрана окружающей среды на железнодорожном транспорте: монография. М.: Космосинформ, 1994. 354 с.

20. Цховребов Э. С., Величко Е. Г. Теоретические положения формирования методологии создания комплексной системы обращения строительных отходов // *Вестник МГСУ*. 2017. Т. 12. № 1. С. 83-93. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2017.1.83-93>.

21. Tshovrebov E., Velichko E., Shevchenko A. Methodological approaches to a substantiation resurso - and energetically effective economic model of object of placing of a waste // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2018. Vol. 692. p. 1296-1305. https://doi.org/10.1007/978-3-319-70987-1_137.

22. Tskhovrebov E., Velichko E., Niyazgulov U. Planning measures for environmentally safe handling with extremely and highly hazardous wastes in industrial, building and transport complex // *Materials Science Forum*. 2018. Vol. 945. p. 988-994. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.945.988>.

REFERENCES

1. Chertes KL, Shestakov NI. Modern biopositive technologies of waste processing in the utilities and construction industries. *Vestnik MGSU = Monthly Journal on Construction and Architecture*. 2020;15(8):1135-1146. (In Russ.). <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2020.8.1135-1146>.

2. Suzdaleva AL. System technoecology and managed nature-technical systems. *Bezopasnost' v tekhnosfere*. 2016;3:6-14. (In Russ.). <https://doi.org/10.12737/21718>.

3. Il'ichev VA, Kolchunov VI, Bakaeva NV, Kobeleva SA. Assessment of environmental safety of construction based on a model of a complete resource cycle. *Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura = Russian Journal of Building Construction and Architecture*. 2016;4(44):169-176. (In Russ.).

4. Hart J, Adams K, Gieseckam J, Tingley DD, Pomponi F. Barriers and drivers in a circular economy: the case of the built environment. *Procedia CIRP*. 2019;80:619-624. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.12.015>.

5. Domenech T, Bahn-Walkowiak B. Transition Towards a Resource Efficient Circular Economy in Europe: Policy Lessons From the EU and the Member States. *Ecological Economics*. 2019;155:7-19. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.11.001>.

6. Elgizawy SM, El-Haggag SM, Nassar K. Slum Development Using Zero Waste Concepts: Construction Waste Case Study. *Procedia Engineering*. 2016;145:1306-1313. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.168>.

7. Ehresman T, Okereke C. Environmental justice and conceptions of the green economy. *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economic*. 2015;15(1):13-27.

<https://doi.org/10.1007/s10784-014-9265-2>.
 8. Kirchherr J, Reike D, Hekkert M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*. 2017;127:221-232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>.
 9. Kechichian E, Mi Hoon Jeong. Mainstreaming Eco-Industrial Parks. Washington, 2016. 131 p. <https://doi.org/10.1596/24921>.
 10. Telichenko V, Benuzh A. Development green standards for construction in Russia. *XXV Polish – Russian – Slovak Seminar “Theoretical Foundation of Civil Engineering”*. *Procedia Engineering*. 2016;153:726-730. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.233>.
 11. Regidor A. Proposals for public investment projects under the principle of sustainable development. *Nóesis: Revista de Ciencias Sociales and Humanidades*. 2016;25(50):23-48.
 12. Goldstein B, Rasmussen FN. LCA of Buildings and the Built Environment. In: Hauschild M, Rosenbaum R, Olsen S (eds.). *Life Cycle Assessment. Theory and Practice*. Springer, 2018. p. 695-722. https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3_28.
 13. Hertwich E, Lifset R, Pauliuk S, Heeren N. Resource Efficiency and Climate Change: Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future. Kenya, 2020. <https://www.unep.org/resources/report/resource-efficiency-and-climate-change-material-efficiency-strategies-low-carbon> [Accessed 19th May 2022].
 14. Kostarev SN, Sereda TG. Development of the automated workstation for the operator of the solid municipal wastes landfill. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;677(4):042107. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/4/042107>.
 15. Tshovrebov E, Velichko E, Kostarev S, Niyazgulov U. Mathematical model of environmentally friendly management of construction waste and waste of urban economy. *IOP Conference*

Series: Earth and Environmental Science. 2021;937:042062.
 16. Kostarev SN, Sereda TG. Design of combination machine for safety assessment source of danger. *Vestnik PNIPU. Bezopasnost' i upravlenie riskami*. 2016;4:77-87. (In Russ.).
 17. Kostarev SN, Tatarnikova NA, Kochetova OV, Sereda TG. Development of a sequence automaton for recognition of deviations indicators in diagnosis of natural systems. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;677(4):042004. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/4/042004>.
 18. Kostarev SN, Sereda TG, Novikov AV, Kochinov YA, Kochinova TV. Development of an automaton based on rigid logic to control the irrigation system. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021;2094(3):032014. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2094/3/032014>.
 19. Tshovrebov ES. Preservation on a railway transportation: monograph. Moscow: Kosmosinform; 1994. 354 p. (In Russ.).
 20. Tshovrebov ES, Velichko EG. Theoretical provisions of formation of methodology for creation of complex system of construction waste treatment. *Vestnik MGSU = Monthly Journal on Construction and Architecture*. 2017;12(1):83-93. (In Russ.). <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2017.1.83-93>.
 21. Tshovrebov E, Velichko E, Shevchenko A. Methodological approaches to a substantiation resurso - and energetically effective economic model of object of placing of a waste. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2018;692:1296-1305. https://doi.org/10.1007/978-3-319-70987-1_137.
 22. Tskhovrebov E, Velichko E, Niyazgulov U. Planning measures for environmentally safe handling with extremely and highly hazardous wastes in industrial, building and transport complex. *Materials Science Forum*. 2018;945:988-994. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.945.988>.

Информация об авторах

Э. С. Цховребов,

кандидат экономических наук, доцент, ученый секретарь Отделения проблем экологической безопасности и устойчивого развития, Академия инженерных наук им. А. М. Прохорова, 123557, г. Москва, ул. Пресненский вал, 19, Россия, e-mail: rebrovstanislav@rambler.ru <https://orcid.org/0000-0002-9481-3832>

Information about the authors

Eduard S. Tshovrebov,

Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor, Scientific Secretary of the Department of Environmental Safety and Sustainable Development, A. M. Prokhorov Academy of Engineering Sciences, 19 Presnensky Val St., Moscow, 123557, Russia, e-mail: rebrovstanislav@rambler.ru <https://orcid.org/0000-0002-9481-3832>

С. Н. Костарев,

доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры вычислительных машин,
комплексов, систем и сетей,
Пермский военный институт войск
национальной гвардии Российской
Федерации,
614030, г. Пермь, ул. Гремячий лог, 1, Россия,
профессор кафедры безопасности
жизнедеятельности,
Пермский государственный
аграрно-технологический университет
имени академика Д. Н. Прянишникова,
614990, г. Пермь, ул. Петропавловская, 23,
Россия,
профессор кафедры зоотехнии,
Пермский институт ФСИН России,
614012, г. Пермь, ул. Карпинского, 125,
Россия,
e-mail: iums@dom.raid.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3097-7037>

Т. Г. Середина,

доктор технических наук, доцент, профессор
кафедры строительных технологий,
Пермский государственный
аграрно-технологический университет
им. акад. Д.Н. Прянишникова,
614990, г. Пермь, ул. Петропавловская, 23,
Россия,
e-mail: iums@dom.raid.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7682-9013>

Ф. Х. Ниязгулов,

соискатель, старший преподаватель кафедры
геодезии, геоинформатики и навигации,
Российский университет транспорта (МИИТ),
127994, г. Москва, ул. Образцова, 9, Россия,
e-mail: transgeo@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0749-1853>

Вклад авторов

Цховребов Э. С., Костарев С. Н., Середина Т. Г.,
Ниязгулов Ф. Х. имеют равные авторские
права. Цховребов Э. С. несет ответственность
за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта ин-
тересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончатель-
ный вариант рукописи.

Статья поступила в редакцию 23.06.2022.
Одобрена после рецензирования 14.07.2022.
Принята к публикации 15.07.2022.

Sergey N. Kostarev,

Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor, Professor
of the Department of Computing Machines,
Complexes, Systems and Networks,
Perm Military Institute of National Guard Troops
of the Russian Federation,
1 Gremyachiy log St., Perm, 614030, Russia,
Professor of the Department of Life Safety,
Perm State Agro-Technological University
named after Academician D. N. Prianishnikov,
23 Petropavlovskaya St., Perm, 614990, Russia,
Professor of the Department of Animal Science,
Perm Institute of the FPS of Russia,
125 Karpinsky St., Perm, 614012, Russia,
e-mail: iums@dom.raid.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3097-7037>

Tatiana G. Sereda,

Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor, Professor
of the Department of Construction Technologies,
Perm State Agro-Technological University
named after Academician D. N. Prianishnikov,
23 Petropavlovskaya St., Perm, 614990, Russia,
e-mail: iums@dom.raid.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7682-9013>

Felys H. Niyazgulov,

Applicant, Senior Lecturer of the Department of
Geodesy, Geoinformatics and Navigation,
Russian University of Transport (MIIT),
9 Obrastsov St., Moscow, 127994, Russia,
e-mail: transgeo@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0749-1853>

Contribution of the authors

Tshovrebov E. S., Kostarev S. N., Sereda T. G.,
Niyazgulov F. H. have equal author's rights.
Tshovrebov E. S. bears the responsibility for pla-
giarism.

Conflict of interests

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

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

The article was submitted 23.06.2022.
Approved after reviewing 14.07.2022.
Accepted for publication 15.07.2022.

**Современная сакральная архитектура как символ архитектурной идентичности и общественное пространство в условиях зимнего города****© Наталья Моисеевна Глебова¹, Михаэль Кламер²**¹Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия²Венский технический университет, г. Вена, Австрия

Автор, ответственный за переписку: Глебова Наталья Моисеевна, nita12@yandex.ru

Аннотация. Цель – рассмотреть здание современной церкви как мощный символ культурной и архитектурной идентичности, а пространство в городе, организованное вокруг и внутри религиозной постройки, как важное с точки зрения цивилизационной культуры общественное пространство; провести сравнительный анализ европейского и российского современного сакрального строительства и сделать прогноз развития православной архитектуры в наши дни, отследить тенденции и ее возможные стили и направления. Было проведено натурное обследование и изучение 150 современных церквей Австрии, эмпирически и в научной литературе отслежено их эволюционное развитие в течение последних 120 лет. Также исследованы некоторые российские церкви, восстановленные, реставрированные исторические и новые, построенные после распада СССР. В результате дана оценка и объяснение неизбежного появления современных течений в архитектуре православной церкви. Существующие историзмы в православной архитектуре наших дней обусловлены не столько большей консервативностью православной религии, сколько вынужденной 70-летней паузой в развитии православной архитектуры. Любая архитектура, даже консервативная религиозная, откликается на происходящие в социуме явления, на его новые культурные и функциональные потребности, в результате чего, при грамотном взаимодействии архитекторов и заказчиков, постепенно меняет пространственную организацию, форму, композицию, общий вид внутреннего пространства и внешней оболочки, в целом архитектурный стиль, рождая новые символы культурной и архитектурной идентичности. Оставаясь уникальным общественным зданием, при добавлении дополнительных новых функций церковь продолжает формировать в себе и вокруг себя общественные городские пространства.

Ключевые слова: городская идентичность, культурная идентичность, иркутская городская идентичность, религиозные постройки, сакральная архитектура, современная церковь, символ архитектурной идентичности, общественное пространство

Для цитирования: Глебова Н. М., Кламер М. Современная сакральная архитектура как символ архитектурной идентичности и общественное пространство в условиях зимнего города // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 3. С. 408–419. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-3-408-419>.

Original article**Contemporary sacral architecture as a symbol of architectural identity and a public space in a winter city****Natalia M. Glebova¹, Michael Klammer²**¹Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia²Vienna Technical University, Vienna, Austria

Corresponding author: Natalia M. Glebova, nita12@yandex.ru

Abstract. In this study, we examine a contemporary church building as a powerful symbol of cultural and architectural identity of a city. The city space organized around and inside a religious building is considered as an important public space from the perspective of civilizational culture. During the study, a comparative analysis of European and Russian contemporary sacral construction was carried out with the

purpose of forecasting the development of the present Orthodox architecture, taking into account possible trends, styles and directions. A field survey of 150 contemporary churches in Austria was carried out. Their evolutionary development over the past 120 years was examined both empirically and using scientific literature. In addition, a number of Russian churches, including restored or renovated historical buildings as well as new facilities built after the collapse of the USSR, were studied. As a result, an assessment and explanation of the inevitable appearance of modern trends in the Orthodox Church architecture is given. Historicisms, existing in the Orthodox architecture of our time, are assumed to be related to the forced 70-year pause in the development of Orthodox architecture, rather than to the greater conservatism of the Orthodox religion. Any architecture, even its conservative religious type, responds to events occurring in a society and to arising new cultural and functional needs. As a result, due to a competent interaction of architects and customers, the existing architectural style starts to change gradually in terms of its spatial organization, form, composition, general appearance of the inner and outer space, thus giving rise to new symbols of cultural and architectural identity. With the addition of new functions, a church remains to be a unique public building, forming public urban spaces both in and around itself.

Keywords: city identity, Irkutsk city identity, cultural identity, religious buildings, sacred architecture, modern church, architectural identity symbol, public space

For citation: Glebova N. M., Klammer M. Contemporary sacral architecture as a symbol of architectural identity and a public space in a winter city. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(3):408-419. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-3-408-419>.

Введение

Культура России в ходе истории формировалась под воздействием православной религии. Именно она стала ядром традиционной российской культуры [1]. И в нашей современности православие продолжает являться неотъемлемой частью российской и сибирской идентичности, в рамках которой за многие поколения выкристаллизовался уникальный цивилизационный феномен – православный уклад жизни и православный образ мысли, дав россиянам устойчивые стереотипы социального поведения.

Православные традиции и культура человеческих взаимоотношений, отношение к труду и природе, ремесла получили масштабное материальное воплощение [2]. Это большая часть всего национального культурного наследия – исторические здания и сооружения, памятники истории и культуры, предметы повседневного быта, народного творчества, произведения искусства.

То, что произошло с религиозно-духовной составляющей русской культуры после революции 1917 года, внесло колоссальные изменения и дополнило общенациональную российскую идентичность, но не могло полностью уничтожить ее православные корни.

Явление идентичности (англ. *identity* < лат. *identitās*) – свойство психики человека осознавать свою принадлежность к различным социальным, национальным, религиозным, экономическим, профессиональным, языковым, политическим, культурным, гендерным, расовым

и другим общностям, отождествлять себя с ними. Идентичность человека с городом, принадлежность к городу складывается из географических параметров, культурных кодов и архитектурной среды.

Географические параметры – это климат, ландшафт, растительность, этнические группы, природные строительные материалы.

Культурные коды – это некие исторические события, национальные и местные особенности, язык, топонимика, ремесла.

Архитектурная среда – это морфотипы и плотность городской застройки, ландшафтная сообразность и организация пространства, символика и семиотика в архитектурных деталях и элементах, местные традиции и материалы строительства.

Городская архитектурная идентичность подразумевает не только ансамблевость и цельность городского образа, уникальные черты и комбинации, присущие данному месту, наличие культурно-исторических кодов, повторяемость признаков во времени, но и развитие архитектурных признаков во времени, интерпретацию и стилизацию историзмов с сохранением узнаваемости [3].

Методы

Формирование городской идентичности – процесс создания в пространстве и времени комплекса характерных признаков, свойств и определенных метрических и качественных параметров, по которым мы узнаем те или иные места города и государства и отличаем их от других мест и городов.



Рис. 1. Русская идентичность: российские православные храмы в заснеженном пейзаже:

а – Исакиевский собор в Санкт-Петербурге; б – Преображенская церковь на о. Кижи;
с – собор Василия Блаженного в Москве; д – Церковь Покрова на Нерли

Fig. 1. Russian identity: Russian Orthodox churches in a snowy landscape: а – St. Isaac's Cathedral in St. Petersburg; б – Church of the Transfiguration on about Kizhi; с – St. Basil's Cathedral in Moscow; д – Church of the Intercession on the Nerl

Символами идентичности могут быть целые ансамбли или кластеры застройки, а иногда отдельные объекты архитектурной среды и их комбинации или даже типичные архитектурные формы и детали [4, 5]. Сакральные сооружения испокон веков и по сей день являются символами национальной, культурной, городской идентичности. Выполненные порой на грани человеческих и технических возможностей на период строительства, они всегда поражали местных жителей, давая им ощущение гордости за отчизну и чувство идентичности с ней. Величественные храмы воздействовали и на приезжих, оставляя неизгладимый след в их памяти и стойкие ассоциации с местонахождением архитектурного памятника (рис. 1) [6–8]. По таким символам мы распознаем города и целые государства, отображенные на открытках, сувенирной продукции и в туристических маршрутах. Такими символами становятся уникальные сооружения. Любые уникальные сооружения, как правило это общественные здания – театры, музеи, концертные и

спортивные залы, являют себя как некий символ: эпохи, исторического или культурного события, нового витка научно-технического прогресса или же индивидуальный творческий замысел выдающегося архитектора, выражающий его стиль, почерк [9]. Такие здания становятся доминантами или акцентами города, выступают как ориентир, как узел, композиционный центр, отличный от общей гомогенной застройки и привлекающий к себе внимание. Как правило, он расположен в общественном пространстве, которое собирает и объединяет горожан. И в этом контексте религиозные здания занимают далеко не последнее место в списке общественных городских пространств. Но кроме русской (российской) идентичности эксперты выделяют сибирскую культурную и архитектурную идентичность, а также иркутскую городскую идентичность [3] (рис. 2).

Владимир Плужников, руководитель центра документации Института Наследия в Москве, архитектор, считает архитектуру исторического центра Иркутска уникальной и

отмечает конкретные отличительные особенности [4]. Его цитата: «Сибирь – это не Россия! В Иркутске острее, чем в других сибирских городах, чувствуется значительная независимость от России, оставшейся к западу от Урала». Даже в простых жилых бревенчатых домах ощутимы отклонения и в породе деревьев, и в плотницких приемах. Деревянная Тихвинская церковь конца XVII в., стоявшая на территории Вознесенского монастыря и снесенная в 1930-е гг. при строительстве мясокомбината, была похожа на башни сибирских острогов, как и диспетчерские здания конца XIX в. на Транс-Сибирской железнодорожной магистрали. Первый каменный восточносибирский храм, являющийся также самой старой уцелевшей церковью в Иркутске, – Спасская церковь – демонстрирует сильные отклонения в архитектуре от столичных образов: ядром

храма стал сильно вытянутый вверх четверик (как в острожных башнях, рис. 2 *b*). Строил ее с 1706 г. московский мастер М. И. Долгих. И в пропорциях здания, и в фасадных формах есть отличия от стандартных русских архитектурных решений того времени. Колокольня при этом храме уже типично иркутская: с мощными нарядными восьмигранными ярусами. Ее возводили позже на полвека, и тогда уже сформировывалось местное барокко, своеобразие которого признано экспертами. Самым ярким представителем иркутского архитектурного барокко называют Крестовоздвиженскую церковь (рис. 2 *d*). Немало барочных деталей мы видим и в деревянной жилой застройке Иркутска этой эпохи [5], в которых, впрочем, прослеживается влияние соседского ламаизма, а также казанских татар. Подобного декора нет в архитектуре к западу от Урала [10].



Рис. 2. Сибирская иркутская идентичность. Иркутские храмы: *a* – Острожная церковь в музее «Тальцы»; *b* – Спасская церковь; *c* – Князе-Владимирский монастырь; *d* – Крестовоздвиженская церковь; *e* – собор Богоявления Господня; *f* – церковь Николая Чудотворца в поселке Большое Голоустное

Fig. 2. Siberian Irkutsk identity. Temples in Irkutsk: *a* – Ostrozhnaya Church in the Taltsy Museum; *b* – Church of the Savior; *c* – Prince Vladimir Monastery; *d* – Holy Cross Church; *e* – Cathedral of the Epiphany of the Lord; *f* – Church of St. Nicholas the Wonderworker in the village of Bolshoye Goloustnoye

Как отмечает архитектор А. Боков, в прошлом президент Союза архитекторов России, «иркутский регионализм» 70-х гг. XX в. в архитектуре также уникален, он «строился» из материала российского наследия – конструктивизма и супрематизма, кроме того, из вынужденных условий и недостатков места и того времени – сурового климата, государственных требований сборности, индустриальности, стандартов и модульности, скудости финансирования и средств выразительности. Все это остроумно трансформировалось в достоинства, создав иркутскую городскую идентичность 70-х [5]. Но здесь упоминается уже другая эпоха. Таким образом, еще один важный фактор идентичности – принадлежность определенному периоду времени. Процесс формирования идентичности не начинается с нуля, а опирается на уже существующий набор символических маркеров, исторически сложившихся, которые и составляют основу идентичности. В свою очередь, эти формы и символы эволюционируют с сообществом, т.к. они являются больше традициями, чем историей, порой это может быть лишь выдумка, легенда. «Идентификация – это не что-нибудь застывшее, это то, что постигается снова и снова и развивается во времени» [6].

Эпоха социализма принесла в российское общество свои новые символы идентичности, но и нанесла невосполнимый ущерб сакральному наследию. Марксистско-ленинская идеология вытравила саму мысль о приоритете религиозной нравственности и православного мышления в формировании мировоззрения творческой интеллигенции, в том числе и в современной архитектурной среде. Но дома культуры советской эпохи не смогли полностью заменить религиозные сооружения с их величием и глубиной смыслов.

В это время в Европе сакральное строительство очень продвинулось (рис. 3) [11–15]. В конце XIX века в европейской архитектуре господствует историзм (в России этот стиль часто называют «эkleктика»), но, например, венские передовые архитекторы Отто Вагнер и Адольф Лоос не одобряют и даже отвергают его. Отто Вагнер разрабатывает революционно новый стиль – венский модерн, или «сeссессион», который вскоре становится популярным (в России чуть позже появляется «русский модерн»). Церковь О. Вагнера Ам-Штайнхоф в Вене (1903 г.) – это первое религиозное сооружение в таком стиле. Именно она ознаменовала собой начало эпохи современности и радикальный разрыв с австрийскими традициями церковей Вены. Это было сенсацией для современников, Рудольф Шварц, пионер

современной католической сакральной архитектуры, в 1956 г. провозгласил ее первой действительно новой церковью [16]. В своем исследовании «Модернизм в церковных зданиях» 1899 г., посвященном «идеальному церковному дизайну», О. Вагнер призвал к адаптации сакральных зданий к современным требованиям, придавая огромное значение функциональности.

Здесь можно сказать о том, что мировое архитектурное течение этого времени – функционализм – распространилось и на сакральные сооружения, т.к. стиль в искусстве и архитектуре – это отражение стиля жизни общества. Далее происходили новые трансформации, появлялись новые направления – конструктивизм, брутализм, и они также коснулись архитектуры католических церквей.

Основой для переосмысления католической церкви и ее архитектурной формы являются литургические реформы, возникшие в результате глубокого философско-богословского переворота около 1900 года. Важными представителями последовавшей после этого христианской сакральной архитектуры межвоенного периода в немецкоязычных странах являются архитекторы Доминик Бём, Рудольф Шварц, Отто Бартнинг и Клеменс Хольцмайстер.

Если проследить исторические изменения в европейской религиозной культуре, то уже начиная с 1570 г. роль священника как единственного существенного субъекта мессы уменьшалась, а прихожане, ранее выполнявшие лишь пассивную воспринимающую роль, становились все более равноправными участниками богослужения.

Поворотным моментом стала программа Висбадена 1891 года, в которой призыв к равенству слова и таинства предполагает отмену пространственного разделения хора и нефа и объединение пространства церкви. А уже в 1894 году на Строительном конгрессе церкви в Берлине было заявлено, что алтарь должен стать центром церкви, не только символическим, но и реальным; а на Дрезденском конгрессе по строительству церковных зданий в 1906 году прозвучали высказывания против имитации историзма. Все это стало важной основой для изменений, произошедших в строительстве католических церквей в XX веке [16, 17].

II Ватиканский собор 1962–1965 гг. институционализировал усилия литургического движения по переопределению самооценки церкви и роли мирян в богослужении, аналогичные события ранее имели место и в протестантской церкви. Реконструкция литургии, которая

предусматривала усиление роли общества, открыла путь к новым пространственным концепциям и формам строительства. На этом фоне, начиная с 1950-х годов, сакральные здания становились приоритетной областью для прогрессивных архитекторов [8]. Церкви стали совмещать в себе множество функций, объединяющих горожан, теперь это не только молитвенные дома, но также помощь и поддержка нуждающимся, воспитание детей (детские сады и воскресные школы), общественные пространства для празднеств и общения, окруженные скверами и парками для гуляния и отдыха горожан.

Надо отметить, что, в свою очередь, вдохновленные реформами и провозглашенной свободой искусства, прогрессивные архитекторы своим индивидуальным творчеством повлияли на городскую идентичность. Мы не можем представить Вену, столицу Австрии, без сецессиона О. Вагнера или Любляну, столицу Словении, без архитектурных произведений Йозефа Плечника (ученик О. Вагнера). Его церковь Святого Духа в районе Оттакринг в Вене (рис. 3 а) – одно из самых ранних священных зданий в Европе, с открытой на фасаде фактурой железобетона как характерным элементом дизайна [16]. Интересно, что открытый бетон получился случайно: первоначально церковь не планировалась столь радикально современной, какой мы ее видим сейчас: снаружи Й. Плечник изначально предусматривал каменную облицовку железобетонных столбов «под кирпич»; в интерьере бетонные стены должны были быть декорированы цветным орнаментом.

Объемно-планировочная композиция церкви пересматривалась, полностью изменяя святилище. Идеи христоцентричного церковного строительства были реализованы в первую очередь Доминикусом Бёмом, который наконец превзошел традиционное устройство церкви (апсида, главный алтарь, боковые проходы, длинный неф) и в 1920-е гг. разработал много новаторских проектов.

Архитектор Роберт Крамрайтер, магистрант Петера Беренса в Венской академии изящных искусств, который пришел в сакральную архитектуру, вероятно, по предложению Доминика Бёма, в чьем архитектурном бюро в Кельне он работал в 1928–1932 гг., построил в Вене множество необычных для того времени церквей, среди которых приходская церковь Флоридсдорф, церковь Девы Марии, Матери Божьей и Благодати.

Кроме Роберта Крамрайтера, строительство церквей в Вене во время Первой

Австрийской республики формировали Рудольф Шварц, Карл Хоули, Йозеф Витиска и Клеменс Хольцмайстер (великий австрийский церковный экспрессионист). Роберт Крамрайтер и Клеменс Хольцмайстер передали свою новую философию устройства церкви молодому поколению архитекторов, которые работали в Вене после 1945 года, когда город был в руинах, и требовалось реставрировать и отстраивать новые церкви помимо жилья.

Магистерская школа в Венской академии изящных искусств превратилась в центр для молодых авангардных строителей церквей. Порой это были сенсационные священные постройки: например, приходская церковь Обербаумгартен Иоганна Георга Гстеу (1962–1965) (рис. 3, 4).

Фридрих Куррент, Йозеф Лакнер, Йоханнес Шпальт – также прошли обучение в Венской академии изящных искусств в школе Клеменса Хольцмайстера. А знаменитая группа архитекторов «Рабочая группа 4» (Вильгельм Хольцбауэр, Фридрих Куррент, Йоханнес Шпальт) курировала выставку «Церкви нашего времени» в соборе Святого Стефана весной 1956 г. и достигла значительных успехов в церковном строительстве.

Изучая сакральную венскую архитектуру на протяжении истории, мы наблюдаем, как она, подобно зеркалу, чутко и пластично отражает все происходящее в обществе через форму, структуру, композицию, материал и декор. А выдающиеся прогрессивные архитекторы являются тем ключевым звеном – передатчиком идей эпохи и общества в архитектуру, внося элементы новой идентичности в городскую облик.

Новая политика, новое мировоззрение в современной России, поиск новых культурных и духовных идеалов и смыслов возвращает нас к строительству храмов. Но новые символы культуры рождаются в муках.

В нашу современную эпоху глобализации в архитектурном творчестве действуют «две противоположные силы»: одна сила стремится защитить и обнародовать аборигенные архитектурные традиции, формы, декоративные мотивы и технологии, провозглашает историческую преемственность, ратует за культурное разнообразие и сохранение географической идентичности. Другая сила продвигает изобретение и распространение новых форм и материалов с использованием новых технологий в ответ на изменение функциональных потребностей и понимания комфорта. Эти две «силы» условно называют «традиционализм» и «модернизм» соответственно [18]. Комбинации в

архитектуре, рожденные под влиянием этих двух сил и их интерпретации, образуют новую идентичность.

В России и, в частности, в Сибири начинают появляться новые религиозные здания (рис. 4 *d*). Как правило, как и все новое, они встречаются с неоднозначным восприятием

общественности. Например, в августе 2021 г. в Иркутске возведение нового Александро-Невского храма вызвало диссонанс и приостановило стройку. Жители не хотят видеть храм на месте небольшой рощи. Для них это привычное общественное пространство, и они не могут отождествлять его с новым храмом.

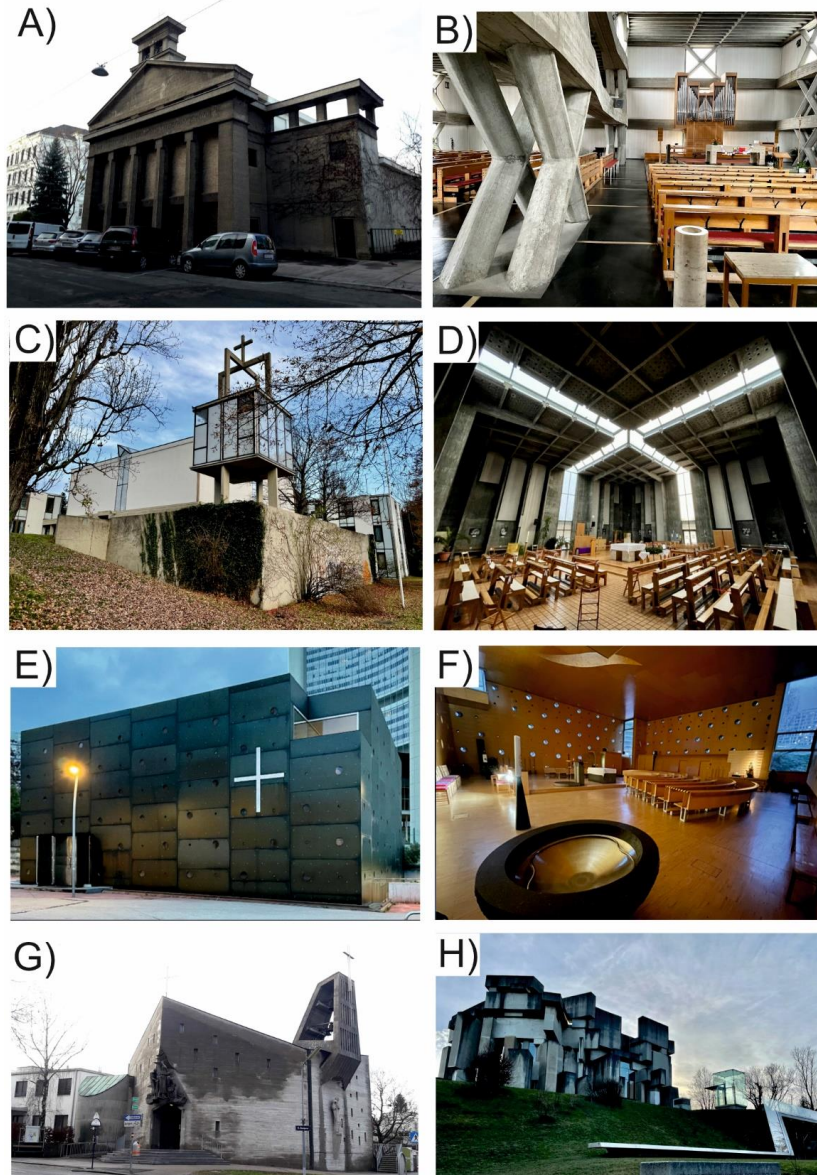


Рис. 3. Современные религиозные сооружения – католические церкви, Австрия: а – церковь Святого Духа, архитектор Йозе Плечник, 1911–1913 гг., Вена; б – приходская церковь св. Иосифа, архитектор Иоганн Георг Гстеу, «Рабочая группа 4», 1958–1970 гг., Штайр; в, д – церковь Обербаумгартен, архитектор Иоганн Георг Гстеу, 1963–1965 гг., Вена; е, ф – городская церковь Донау «Христос, надежда мира», архитектор Хайнц Тезар, 2000 г., Вена; г – приходская церковь Доброго Пастыря, архитектор Чино Косак, 1963–1965, Вена; h – храм Вотрубы, или храм Святой Троицы, архитекторы Фриц Вотруба, Фриц Герхард Майр, 1974–1976, Вена

Fig. 3. a – Kirche zum Heiligen Geist, arch. Josef Plečnik, 1911–1913, Vienna; b – Pfarrkirche hl. Josef, arch. Johann Georg Gsteu, «Arbeitsgruppe 4», 1958–1970, Steyr; c, d – Kirche Oberbaumgarten, arch. Johann Georg Gsteu, 1963–1965, Vienna; e, f – Donaucity-Kirche «Christus, Hoffnung der Welt», arch. Heinz Tesar, 2000, Vienna; g – Pfarrkirche Zum Guten Hirten, arch. Ceno Kosak, 1963–1965, Vienna; h – Wotrubakirche, Katholische Kirche «Zur Heiligsten Dreifaltigkeit», arch. Fritz Wotruba & Fritz Gerhard Mayr, 1974 – 1976, Vienna

Храм по проекту архитектора А. Красильникова в градостроительном плане задуман как выгодно доминирующее сооружение в окружающей 4-5-этажной застройке, обогащающее своим силуэтом городскую среду левого берега города. Рошу принято дополнить новыми деревьями. Вместо традиционных надворных построек – стилобат, в котором разместились служебно-бытовые, жилые и общественные помещения: просветительско-катехизаторский центр, видеозал, библиотека, читальный зал, музей, помещения для гуманитарной помощи, кельи, и центром композиции этого уровня

является храм для службы на 100–150 прихожан. Это новое общественное пространство, обогащенное инфраструктурой, культурными кодами, новыми визуальными образами. Роша как неотъемлемая часть этого пространства и местной идентичности вместе с архитектурой взаимодополняют друг друга, создавая ландшафтно-архитектурную сообразность [19].

Кроме традиций архитектуры и культурных особенностей, городскую идентичность создают географические условия: климат, ландшафт, растительность, которые влияют на архитектурные формы и вид.

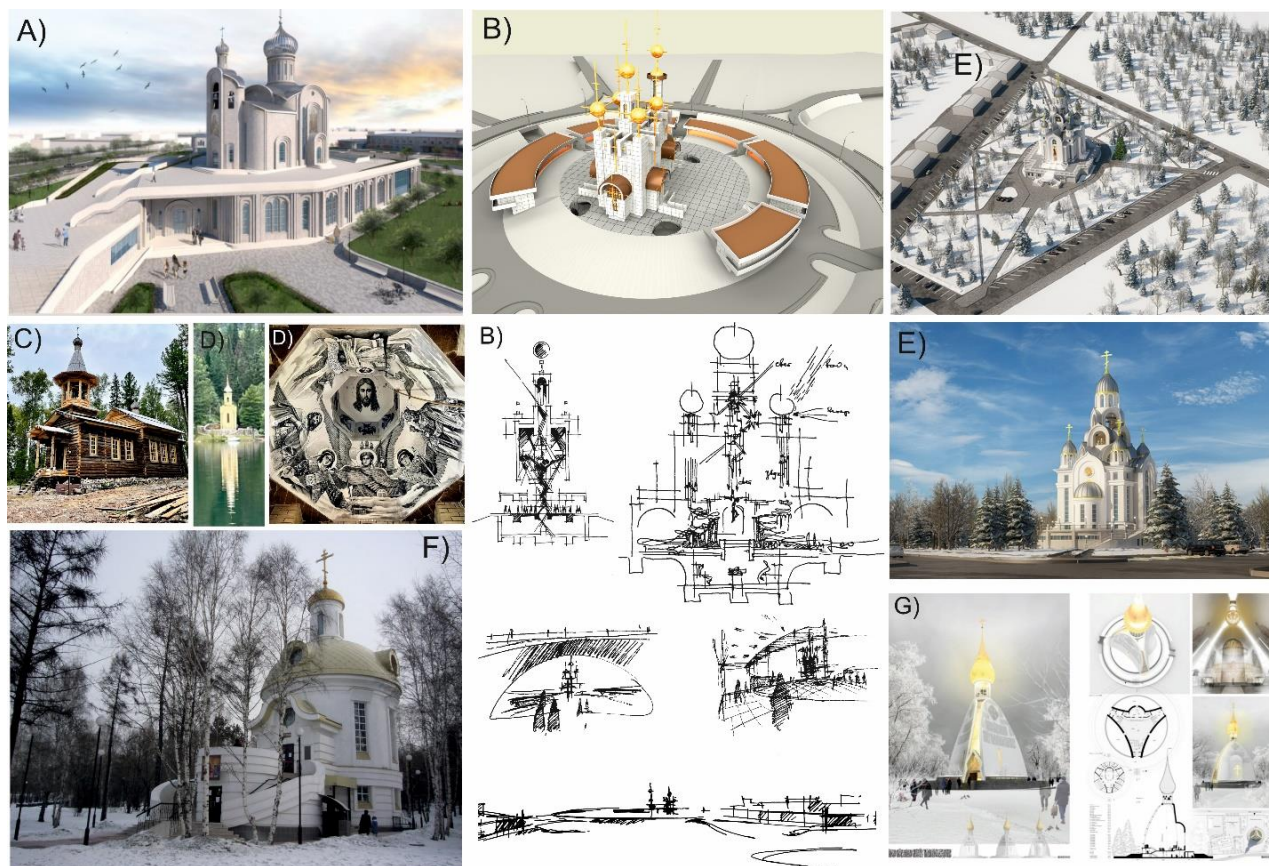


Рис. 4. Православные храмы Сибири третьего тысячелетия. Проекты и реализация: а – дипломный проект, студент А. Красноярцева (ИРНИТУ, рук. Л. Н. Макогон); б – конкурсный проект Александровского храма, архитектор Н. Жуковский; в – новая церковь на озере Изумрудное возле с. Выдрино; д – часовня Святого пророка царя Соломона на озере Изумрудное возле с. Выдрино и роспись ее купола; е – Александровский храм, архитекторы А. Красильников, О. Филиппова, Сибирский проектный институт; ф – церковь Веры, Надежды, Любви и Матери Их Софии, архитектор А. Красильников; г – конкурсный проект церкви, Гильдия храмоздателей¹

Fig. 4. Orthodox churches of Siberia of the third millennium. Projects and implementation: а – graduation project, student A. Krasnoyartseva (INRTU, leader L. N. Makogon); б – competitive design of the Alexander Nevsky Church, architect N. Zhukovsky; в – a new church on Lake Izumrudnoe near the village. Vydrino; д – the chapel of the Holy Prophet King Solomon on the Emerald Lake near the village. Vydrino and painting of its dome; е – Alexander Nevsky Church, architects A. Krasilnikov, O. Fillipova, Siberian Design Institute; ф – Church of Faith, Hope, Love and Their Mother Sophia, architect A. Krasilnikov; г – competition project of the church, Guild of Temple Builders¹

¹Гильдия храмоздателей [Электронный ресурс]. URL: www.gildehram.ru (11.06.2022).

Географией обусловлен также и этнический состав, который несет с собой историю, сказания, искусства, традиции и ремесла, в свою очередь оставляющие свои символы, знаки, формы, орнаменты и цвет в архитектуре; местные природные материалы используют в строительстве, характер осадков влияет на форму крыш. Белоснежные сибирские пейзажи – еще одно важное дополнение к городской идентичности.

Вопреки ожиданиям сибиряков, скучающих по короткому лету, по результатам анализа туристической активности, туристско-экскурсионный поток в Иркутскую область растет с каждым годом, жителей теплых регионов привлекает Сибирь, ее холодные снежные зимы вносят колоссальное разнообразие в жизнь с однотипной погодой в осенне-зимне-весенний период в родных краях.

В холодные дни храмы могут согревать замерзших туристов и духовно, и физически. В свою очередь, архитектурная среда, адаптированная к условиям суровой зимы, имеет свой аутентичный характер и уникальные особенности конструкций и формообразования, материалов и архитектурных деталей, а в связи с этим и узнаваемость, неповторимость, что, в конечном итоге, складывается в индивидуальность городского образа. Осознавая это и оценивая по достоинству, горожане-сибиряки лучше отождествляют себя с местом своего проживания, неосознанно расценивая его как «свой дом», ощущая идентичность с ним, это необходимо для устойчивого развития города, для обеспечения психического здоровья горожан, для усиления чувства патриотизма, сплоченности и солидарности [20] и, как следствие, роста, а не убыли, населения сибирских городов.

Результаты и их обсуждение

Двойственная природа явления городской идентичности выявляет как отличие города от других, так и равенство с самим собой и своими локальными закономерностями. Архитектура уникальных культурных религиозных сооружений, являясь мощными символами местной культурной и архитектурной идентичности,

должна подчеркивать «русскость», «сибирскость», «иркутскость», и в исторических памятниках Иркутска мы это наблюдаем. Но, кроме того, идентичность всегда рассматривается в контексте целостности и связи отдельных элементов, как исторических, так и современных; в непрерывном развитии в соответствии с влиянием времени, характеризуемом сохранением первоначальных компонентов архитектурного контекста, но обязательным привнесением новых, современных.

Заключение

Идентичность места всегда вызвана ассоциациями с характеристиками текущего времени и места; с последними научными и техническими достижениями; с последними модными, культурными и интеллектуальными событиями настоящего времени (любые события привязаны как к месту, так и ко времени).

Наряду с общечеловеческими, фундаментальными христианскими православными принципами храмовая архитектура должна олицетворять тождественность с современным развитием общества, с его развивающимися гуманистическими тенденциями, что неизбежно отразится во внешнем облике храмовых комплексов.

Консервативная традиционная архитектура современных православных церквей в исторических стилях может несколько усложнять возникновение чувства идентичности и сопричастности к современной эпохе, особенно у молодых горожан.

Сакральные здания, выступая в современном обществе не только как сооружения для традиционных религиозных церемониалов, но и как место помощи, поддержки и объединения горожан по различным культурным интересам, обогащаются и в пространственно-функциональном смысле, способствуют развитию патриотизма со стороны местных жителей и привлечению туристов в сибирские города, а в зимние холодные периоды могут рассматриваться в качестве комфортного крытого общественного пространства для посещения с культурно-просветительской и познавательной целью.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Глебова Н. М., Кламер М. Современный храм в структуре города как символ культурной идентичности и общественное пространство // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 2 (41). С. 256–275. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-2-256-275>.
2. Куцевич В. В. Храм в структуре города. Традиции и современность // Архитектура и

современные информационные технологии. 2015. № 4 (33). С. 8.
3. Кламер М., Глебова Н. М., Дружинина И. Е. Идентификационные коды архитектурной среды городских пространств // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2017. Т. 7. № 3 (22). С. 132–144.
4. Глебова Н. М. Критерии отбора уникальных объектов архитектурной среды городских

пространств Иркутска с идентифицируемыми свойствами // Сборник статей XXVIII Международной научно-практической конференции "International scientific news 2017" (Москва, 22 декабря 2017 года). М., 2017. С. 802–806.

5. Глебова Н. М. Формирование архитектурной идентичности городской среды Иркутска: монография. Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2020. 86 с.

6. Adam R. Identity and Identification: The Role of Architectural Identity in a Globalised World // The Role of Place Identity in the Perception, Understanding, and Design of Built Environments. Bentham Science Publishers, 2012. p. 176-193. <https://doi.org/10.2174/978160805413811201010176>.

7. Макотина С. Новые культовые сооружения в столице Бурятии Улан-Удэ // Проект Байкал. 2014. № 11 (41). С. 50–54. <https://doi.org/10.7480/projectbaikal.41.732>.

8. Юрьева А. В. Храмовая архитектура: традиция и новация // Архонт. 2020. № 5 (20). С. 106–110.

9. Глебова Н., Кламер М. Красная Вена. 1919–1934 // Проект Байкал. 2021. № 18 (68). С. 26–35. <https://doi.org/10.51461/projectbaikal.68.1797>.

10. Калинина И. В., Красная Н. Н. Город и дерево. Архитектура и ремесло. Иркутск: Агентство «МайР», 2013. 452 с.

11. Bäuml A. K., Zeese A. Wiener Kirchenbau nach 1945. Institut für Kunstgeschichte. Wien: Denkmalpflege und industriearchäologie Technische Universität, 2007. 139 S.

12. Achleitner F. Österreichische Architektur im 20. Jahrhundert. Band III/1. Wien 1.-12. Bezirk. Salzburg: Residenz Verlag, 2010. 331 S.

13. Achleitner F. Österreichische Architektur im 20. Jahrhundert. Band III/2. Wien 13.-18. Bezirk. Salzburg: Residenz Verlag, 1995. 256 S.

14. Achleitner F. Österreichische Architektur im 20. Jahrhundert. Band III/3. Wien 19.-23. Bezirk. Salzburg: Residenz Verlag, 2010. 500 S.

15. Vorderwinkler F. R. Sakrale Kunst in Österreich. Kirchen der Stadt Wien. Band 1. Steyr: Kulturbuchverlag, 2008. 240 S.

16. Глебова Н. М., Кламер М. Эволюция и модернизм религиозной архитектуры Вены // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2021. Т. 11. № 2 (37). С. 314–329. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-2-314-329>.

17. Барашков В. В. Образно-эстетические традиции и инновации в современной западноевропейской христианской церковной архитектуре // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Политология. Религиоведение». 2018. Т. 23. С. 137–145. <https://doi.org/10.26516/2073-3380.2018.23.137>.

18. Katona V., Vukosavljević Z. Place and Identity. Critical Regionalism in the New Millennium, National and International Achievements // Építés – Építészettudomány. 2012. Vol. 40 (1-2). p. 141-197. <https://doi.org/10.1556/EpTud.40.2012.1-2.8>.

19. Глебова Н. М., Большаков А. Г. Принципы сохранения и формирования архитектурной идентичности в уличной застройке исторической части г. Иркутска // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2019. Т. 9. № 3. С. 606–619. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-3-606-619>.

20. Portisch H. Russland und wir: Eine Beziehung mit Geschichte und Zukunft. 1st edition. Ecowin, 2020. 144 S.

REFERENCES

1. Glebova NM, Klammer M. Modern temple in urban structure as a symbol of cultural identity and public space. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2022;12(2):256-275. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-2-256-275>.

2. Kutsevich VV. Temple in the structure of the city. Tradition and modernity. *Arkitektura i sovremennye informatsionnye tekhnologii = Architecture and modern information technologies.* 2015;4(33):8. (In Russ.).

3. Klammer M, Glebova NM, Druzhinina IE. Identification codes of architectural area of city spaces. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities.*

Investment. Construction. Real estate. 2017;7(3):132-144. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2017-3-132-144>.

4. Glebova NM. Criteria for the selection of unique objects of the architectural environment of the urban spaces of Irkutsk with identifiable properties. Collection of articles of the XXVIII International Scientific and Practical Conference „International scientific news 2017“ (Moscow, 22nd December 2017). Moscow, 2017. p. 802-806. (In Russ.).

5. Glebova NM. Formation of the architectural identity of the urban environment of Irkutsk: monograph. Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University; 2020. 86 p. (In Russ.).

6. Adam R. Identity and Identification: The Role of Architectural Identity in a Globalised World. In: Casakin H., Bernardo F. *The Role of Place Identity in*

the Perception, Understanding, and Design of Built Environments. Bentham Science Publishers, 2012. p. 176-193. <https://doi.org/10.2174/978160805413811201010176>.

7. Makotina S. New Religious Structures in the Capital of Buryatia, Ulan-Ude. *Project Baikal*. 2014;11(41):50-54. (In Russ.). <https://doi.org/10.7480/projectbaikal.41.732>.

8. Yurieva AV. Temple architecture: tradition and innovation. *Arkhot*. 2020;5(20):106-110. (In Russ.).

9. Glebova NM, Klammer M. Red Vienna. 1919–1934. *Proekt Baikal*. 2021;18(68):26-35. (In Russ.). <https://doi.org/10.51461/projectbaikal.68.1797>.

10. Kalinina IV, Krasnaya NN. City and tree. Architecture and craft. Irkutsk: MAIR Agency; 2013. 452 p. (In Russ.).

11. Bäuml AK, Zeese A. Wiener Kirchenbau nach 1945. Institut für Kunstgeschichte. Wien: Denkmalpflege und industriearchologie Technische Universität; 2007. 139 S.

12. Achleitner F. Österreichische Architektur im 20. Jahrhundert. Band III/1. Wien 1.-12. Bezirk. Salzburg: Residenz Verlag; 2010. 331 S.

13. Achleitner F. Österreichische Architektur im 20. Jahrhundert. Band III/2. Wien 13.-18. Bezirk. Salzburg: Residenz Verlag; 1995. 256 S.

14. Achleitner F. Österreichische Architektur im 20. Jahrhundert. Band III/3. Wien 19.-23. Bezirk. Salzburg: Residenz Verlag; 2010. 500 S.

15. Vorderwinkler FR. Sakrale Kunst in Österreich. Kirchen der Stadt Wien. Band 1. Steyr: Kulturbuchverlag; 2008. 240 S.

16. Glebova NM, Klammer M. Evolution and modernism of church architecture in Vienna. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2021;11(2):314-329. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-2-314-329>.

17. Barashkov VV. Aesthetical traditions and innovations in the modern christian church architecture in Western Europe. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya „Politologiya. Religiovedenie“*. 2018;23:137-145. (In Russ.). <https://doi.org/10.26516/2073-3380.2018.23.137>.

18. Katona V, Vukosavljevic Z. Place and Identity. Critical Regionalism in the New Millennium, National and International Achievements. *Építés – Építészettudomány*. 2012;40(1-2):141-197. <https://doi.org/10.1556/EpTud.40.2012.1-2.8>.

19. Glebova NM, Bolshakov AG. Principles of the preservation and formation of the architectural identity in street construction in the historical part of Irkutsk. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2019;9(3):606-619. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-3-606-619>.

20. Portisch H. Russland und wir: Eine Beziehung mit Geschichte und Zukunft. 1st edition. Ecowin, 2020. 144 S.

Информация об авторах

Н. М. Глебова,
доцент, доцент кафедры архитектурного проектирования,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
e-mail: nita12@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8762-9711>

М. Кламер,
доктор технических наук, профессор,
профессор Института систем транспортного планирования,
Технический университет Вены,
1040, г. Вена, ул. Карлсгассе, 11, Австрия,
e-mail: michael.klammer@tuwien.ac.at

Information about the authors

Natalia M. Glebova,
Associate Professor, Associate Professor of the
Department of Architectural Design,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,
e-mail: nita12@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8762-9711>

Michael Klammer,
Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Institute for
Transport System Planning,
Technical University of Vienna,
11 Karlsgasse St., Vienna, 1040, Austria,
e-mail: michael.klammer@tuwien.ac.at

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.

Статья поступила в редакцию 17.06.2022.
Одобрена после рецензирования 12.07.2022.
Принята к публикации 14.07.2022.

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 17.06.2022.
Approved after reviewing 12.07.2022.
Accepted for publication 14.07.2022.

**Гаражная амнистия и/или комплексное развитие территорий?****© Инна Евгеньевна Дружинина**Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия,
irk.allegro.id@gmail.com

Аннотация. Данная работа входит в цикл статей автора, рассматривающих территории гаражных кооперативов (ГК) в Иркутске как потенциальные площади развития, резервы городских земель. Принятый Госдумой РФ Закон о «гаражной амнистии» дает возможность жителям узаконить свои строения и земельные участки, что придает определенную специфику комплексному развитию ГК. В исследовании анализируются территории южной части Свердловского округа, занятые гаражными кооперативами, расположенными в зоне особо ценных ландшафтов и препятствующими доступу к ним горожан. В работе применен эмпирический метод исследования с описанием, сравнением по районам, подсчетом фактических площадей ГК к 2021 году в Иркутске. Проведен анализ размещения ГК с приведением абсолютных и относительных показателей. В процессе исследования разработана стратегия повышения качества жилой среды за счет преобразования участков гаражных кооперативов в привлекательные рекреационные зоны с высокоэффективными многофункциональными объектами. В них предлагается компактное хранение автомобилей, их обслуживание, устройство индивидуальных овощехранилищ и организация других общественных функций на месте существующих ГК с преобразованием в комфортную среду не только для владельцев личного автотранспорта, но и жителей микрорайонов. Преобразование территорий ГК позволит использовать их земельные участки как потенциальные площадки развития города. Статья содержит схемы и результаты исследований из выпускной квалификационной работы направления «Архитектура» студентки М. В. Малкиной (2021 г.), выполненной под руководством автора статьи в ИРНИТУ.

Ключевые слова: гаражные кооперативы, гаражная амнистия, модернизация территорий, комплексное развитие территорий, многофункциональный гаражный комплекс

Для цитирования: Дружинина И. Е. Гаражная амнистия и/или комплексное развитие территорий? // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 3. С. 420–429. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-3-420-429>.

Original article**Garage amnesty and/or integrated territorial development?****Inna E. Druzhinina**Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia, irk.allegro.id@gmail.com

Abstract. This study continues the author's article series aimed at examining the territory of garage cooperatives (GCs) in Irkutsk as prospective development areas and reserves of urban lands. The “garage amnesty” law accepted by the State Duma of the Russian Federation provides the citizens with the possibility to legalise their garages and land plots, which makes the integrated development of GCs highly specific. The study analyses territories of the most valuable landscapes in the southern part of the Sverdlovsk Okrug occupied with GCs, which impede their integrated development. An empirical research method was used, including a description, comparison by districts and calculation of actual GC areas formed by 2021 in Irkutsk. An analysis of the GC location was carried out with the provision of absolute and relative indicators. In the process of the study, a strategy for improving the quality of the living environment by transforming the areas of garage cooperatives into attractive recreational zones with highly effective multifunctional facilities was developed. This strategy proposes a compact storage of cars, their maintenance, arrangement of individual vegetable storages and organisation of other public functions at the places of GC location with the transformation of the latter into a comfortable environment

both for owners of personal vehicles and neighbourhood residents. GC territories can be transformed into potential sites of city development. The paper contains schemes and research results obtained in the framework of the final qualification work in the "Architecture" speciality of student M.V. Malkina (2021) under the guidance of the author of the present article at the Irkutsk National Research Technical University (INRTU).

Keywords: garage-building cooperatives, garage amnesty, modernization of territories, integrated sustainable development of territories, multifunctional garage complex

For citation: Druzhinina I. E. Garage amnesty and/or integrated territorial development? *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'* = *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(3):420-429. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-3-420-429>.

Введение

Перед городом Иркутском уже давно остро стоит проблема развития, поскольку в границах населенного пункта он практически исчерпал свободные площади. Его периметр с центробежной силой активно и на многие километры от столицы Восточной Сибири осваивается многочисленными коттеджными поселками, садовыми и дачными товариществами, граничит с другими муниципальными образованиями, «...ведется безудержная земельная экспансия» [1, с. 32]. С целью освоения «новых» площадок под строительство в Иркутске сносится ветхая деревянная и уплотняется существующая застройка, до 2020 г. работала программа развития застроенных территорий (РЗТ). Одним из вариантов перспективного развития является модернизация иных резервных территорий города, так называемого «серого» или «амбарного» пояса – слабо развитых или заброшенных территорий производственного кластера, в том числе территорий гаражных кооперативов.

Площадь застройки всех вместе взятых гаражных кооперативов в Иркутске по четырем округам составляет более 524,5 га, что превышает площадь всей многоэтажной застройки в Иркутске (около 450 га), существующей на сегодняшний день (рис. 1, 2). Рассмотрим, каковы перспективы освоения этих площадок. Если с производственными площадками вопрос определения собственника и межевания территорий, как правило, решен, то земли, занятые разросшимися за последние десятилетия гаражными кооперативами, не оформленными в собственность, до последнего времени не имели юридической основы для этой процедуры. Занимая гигантские городские площади, они наносят ущерб в целом городской среде, не приносят дохода в казну. По этой причине в данной работе анализируются земли под гаражными кооперативами (ГК) и рассматриваются варианты решения планировочных,

компоновочных, социальных и иных архитектурно-градостроительных задач.

Вариант 1. Федеральный закон от 05.04.2021 № 79-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», именуемый у населения «гаражной амнистией», вступил в силу с 01.09.2021 и будет действовать в течение пяти лет. По этому закону можно оформить права собственности на гаражи и земельные участки под ними. В соответствии с этим документом, не все гаражи удастся легализовать, есть ряд ограничений. Например, постройки на государственных или муниципальных земельных участках, возведенные после 30.12.2004, то есть после вступления в силу Градостроительного кодекса РФ, рассматриваться не будут, как и гаражи в многоквартирных домах, подземные гаражи или не капитальные строения (металлические разборные, без фундамента). Граждане – владельцы гаражей, отвечающих требованиям закона, могут оформить земельные участки и строения, передавать их по наследству, дарить, продавать, сдавать в аренду.

Вариант 2. В части 4 статьи 65 Градостроительного Кодекса РФ определены земельные участки, в отношении которых возможно комплексное развитие территорий (КРТ) нежилкой застройки: участки объектов капитального строительства, признанные аварийными и подлежащими сносу или реконструкции; снос, реконструкция которых планируется на основании адресных программ, утвержденных высшим органом исполнительной власти субъекта РФ; использование территорий и размещенных на них капитальных строений и/или их характеристики не соответствуют видам разрешенного использования земельных участков и объектов капитального строительства, установленным правилами землепользования и застройки; участки с объектами капитального строительства, признанными самовольными

постройками в соответствии с гражданским законодательством¹.

Существующие гаражные кооперативы имеют целый ряд недостатков: негативно влияют на облик городского пространства,

нарушают коммуникативные и визуальные связи жилых и рекреационных территорий, уродуют панораму рек, занимают ценные ландшафты и блокируют их использование.



Рис. 1. Локация гаражных кооперативов в Иркутске. Схема из выпускной квалификационной работы 2021 г. М. В. Малкиной, руководитель И. Е. Дружинина

Fig. 1. Location of garage cooperatives in Irkutsk. The Layout from the bachelor's work M. V. Malkina, supervisor I. E. Druzhinina (2021)

В случае утверждения программы КРТ на законодательном уровне, отдельные участки под ГК с подобными проблемами могут быть преобразованы в комфортную, полноценную городскую среду без ущерба для автовладельцев. Это станет возможно в случае проработки экономической и юридической сторон вопроса

об изъятии земельных участков гаражных кооперативов под развитие территорий с полноценной компенсацией в виде бокса или машиноместа (по выбору) владельцам гаражей в многофункциональном многоуровневом гаражном комплексе. По мнению автора статьи, компенсация должна осуществляться на этой же

¹Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 N 190-ФЗ (ред. от 30.12.2021) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2022) [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/ef7f37a43741b89c0d5fc101a4df835833548c5e/ (07.04.2022).

площадке с возможностью оформления в собственность бокса или машиноместа, а также места в овощехранилище (по желанию) в этом же комплексе. Не исключается вариант (3) утверждения программы КРТ по модернизации земель ГК после проведения гаражной амнистии. Это в какой-то мере усложнит саму процедуру изъятия таких земель, но не исключает этой возможности. В этом случае наиболее «защищенными» будут владельцы гаражей, которые оформили их в собственность.

Методы

Эмпирическим методом установлено общее количество ГК в разных районах Иркутска, определены и описаны их абсолютные и относительные параметры, выполнены графические схемы (рис. 2). Рассмотрим параметры гаражных кооперативов по округам города. В Ленинском округе насчитывается 17 гаражных кооперативов, площадь которых составляет от 1

до 21 га, в сумме 133 га. Площадь застройки гаражных кооперативов по отношению к площади округа составляет 2 %, а отношение кооперативов, занимающих более 5 га, к общему их количеству – 52 %. В Правобережном их также 17, площадью от 0,7 до 14 га.

Общая площадь всех кооперативов округа составляет 80 га, к площади округа – 1,3 %, а количество крупных ГК к их количеству составляет 21 %. 28 ГК в Октябрьском округе всего занимают 128 га в диапазоне от 1 до 30 га. Отношение к общей площади округа – 6 %, кооперативы площадью более 5 га составляют 32 % к общему их числу.

В Свердловском округе самое большое количество ГК – 41 общей площадью 184 га: от 0,6 до 17 га каждый. Общая площадь застройки ГК к площади округа составляет 4,4 %, а количество кооперативов, занимающих более 5 га, составляет 34 % (рис. 2).

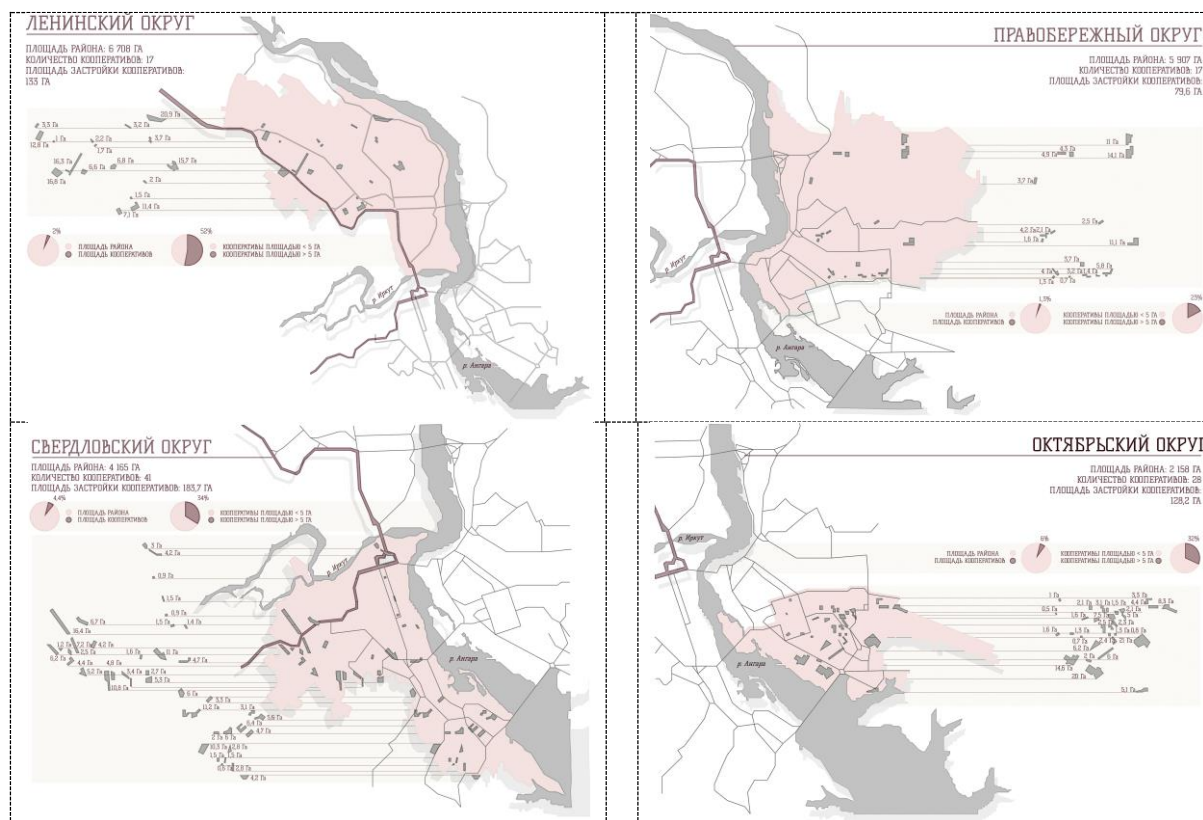


Рис. 2. Размещение гаражных кооперативов в Ленинском, Правобережном, Свердловском и Октябрьском округах Иркутска. Схемы из выпускной квалификационной работы М. В. Малкиной, руководитель И. Е. Дружинина
Fig. 2. Placement of garage cooperatives in the Leninsky, Pravoberezhny, Sverdlovsk and Oktyabrsky districts of Irkutsk. Layouts from the bachelor's work M. V. Malkina, supervisor I. E. Druzhinina

Размещение ГК носит дисперсный характер, не имеет определенной структуры и принципов размещения. Наши исследования

начались со Свердловского округа, поскольку он имеет самое большое количество ГК и самую большую их площадь застройки. В

выпускных квалификационных работах бакалавров А. А. Копанева (2020 г.) и М. В. Малкиной (2021 г.) под руководством автора статьи анализировались фрагменты жилых территорий Свердловского округа – застройка микрорайона Синюшина Гора и южной части округа – Кочумовского Лога.

Площадь территорий ГК в микрорайоне Синюшина гора сопоставима с площадью

застройки микрорайона.

Проектом предлагалось в геометрическом центре микрорайона, на месте гаражных кооперативов, «разрезающих» жилую застройку на две части, разместить несколько компактных многоуровневых многофункциональных гаражных комплексов. Такие паркинги занимают меньше места и имеют большую вместимость [2, 3].

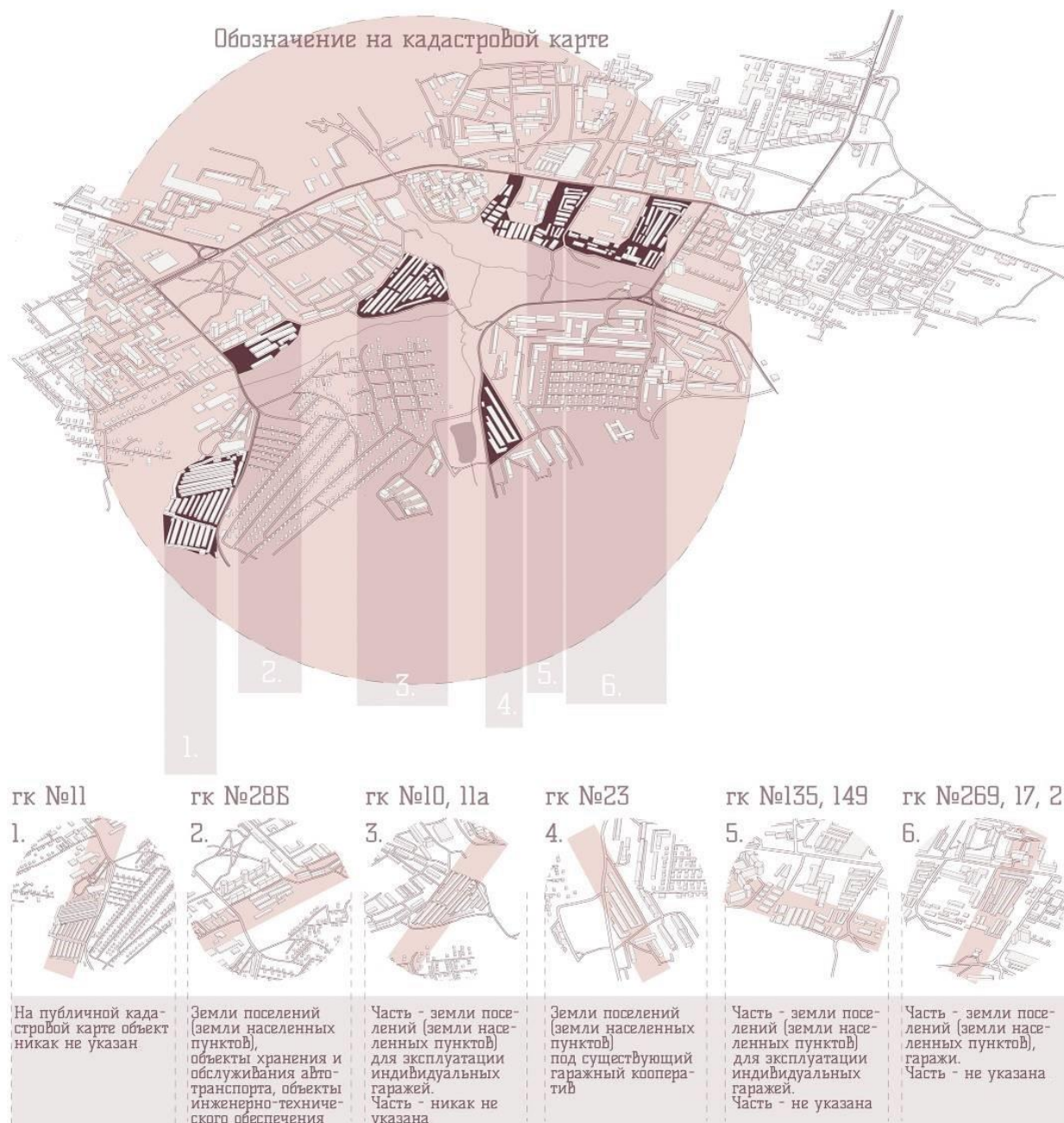


Рис. 3. Размещение гаражных кооперативов в Кочумовском Логе. Схема из выпускной квалификационной работы 2021 г. М. В. Малкиной, руководитель И. Е. Дружинина

Fig. 3. Placement of garage cooperatives in the Kochumovsky Log. The Layout from the bachelor's work M. V. Malkina, supervisor I. E. Druzhinina (2021)



Рис. 4. Схема транспортного и зеленого каркаса в Кочумовском Логе из выпускной квалификационной работы М. В. Малкиной, руководитель И. Е. Дружинина
Fig. 4. The Layout of the transport and green frame in Kochumovsky Log from the bachelor's work M. V. Malkina, supervisor I. E. Druzhinina

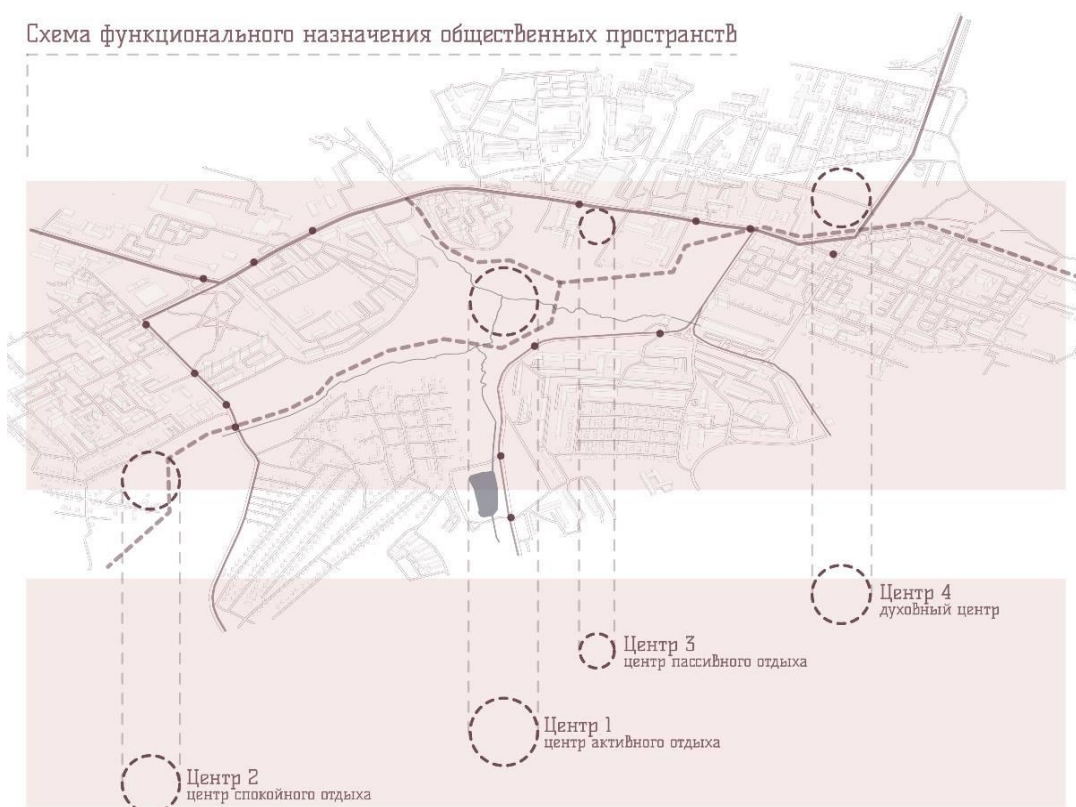


Рис. 5. Схема размещения функциональных зон (узлов) общественных пространств в Кочумовском Логе из выпускной квалификационной работы М. В. Малкиной, руководитель И. Е. Дружинина
Fig. 5. The Layout of functional zones (nodes) of public spaces in Kochumovsky Log from the bachelor's work M. V. Malkina, supervisor I. E. Druzhinina

По задумке автора статьи и бакалавра М. В. Малкиной в многофункциональных комплексах всем владельцам сносимых гаражей предоставляется гарантированная и бесплатная, по оценочной стоимости объекта на момент сноса компенсация, возможность выбора парковочного места или бокса с ячейкой в овощехранилище (по необходимости и при наличии подвала в гараже).

Для определения потенциального количества парковочных мест, боксов, ячеек в овощехранилище необходимо провести оценку спроса на эти помещения путем построения моделей и исследования парковочных систем [4], учитывать постоянную динамику роста автомобилизации и индикаторов эффективного управления парковочным местом [5].

Современные комплексы могут быть оснащены всем спектром технического обслуживания транспортных средств, разрешенных в жилой застройке, вспомогательными функциями. Они должны быть интегрированы в высококачественную общественную зону².

В результате освободится территория для рекреационной зоны, острая нехватка которой существует в микрорайоне, для объектов социально-культурного и бытового назначения, восстановятся пешеходные связи двух на данный момент изолированных друг от друга частей микрорайона, изменится облик застройки и значительно повысится ее комфорт.

Нельзя не учитывать и тот факт, что многоэтажные комплексы в системе налогообложения обойдутся владельцу машиноместа значительно дешевле, чем индивидуальное содержание территории под гаражом и самого строения. Машиноместо, ячейку в овощехранилище, наряду с другими объектами обслуживания автомобилей и населения, можно будет приобретать в собственность, брать в аренду, передавать по наследству, как это и происходит сегодня в юридической практике.

В процессе подготовки и проведения «гаражной амнистии» выявился ряд проблем правового регулирования у пользователей земельными участками, предоставленными гаражно-строительным кооперативам [6, 7]. «После строительства объектов, на которые ГСК привлекало денежные средства, и вводе их в эксплуатацию, право собственности на здания (помещения) переходит членам кооператива (гражданам и юридическим лицам), которые признаются фактическими владельцами земельного участка, на котором размещены

принадлежащие им объекты» [8, с. 134]. Кроме того, в вопросах незаконного строительства или установки гаражных боксов существует процедура оспаривания сноса отдельных гаражных строений [9].

Гаражные кооперативы, сложившиеся стихийно в советский и постсоветский период, повсеместно наносят ущерб экологическим системам городского пространства, эстетическим и санитарным качествам среды, способствуют сокращению зеленых насаждений, дворовых площадок – для игр детей, отдыха взрослых, спортивных [10].

В проекте модернизации гаражных кооперативов в южной части Свердловского округа М. В. Малкиной в 2021 году был использован тот же принцип компоновки и размещения многофункциональных гаражных комплексов, что и в работе 2020 года, но акцент сделан на экологический аспект и планировку территории (рис. 3–5). Речь идет об «освобождении» ценных ландшафтов Кочумовского Лога от застройки ГК, производственных объектов, переносе транзитной магистрали на повышенные отметки рельефа – другими словами, о «гуманизации городской среды», повышении комфортности и, в конечном счете, улучшении здоровья жителей микрорайонов [11]. Необходимо на месте «оживления» рекреаций использовать различные приемы ландшафтного дизайна открытых общественных пространств как средство повышения качества среды [12, 13].

Результаты и их обсуждение

В ходе работы проанализированы все пешеходные связи между жилыми территориями Кочумовского Лога, транспортная структура. Представлены предложения по этим элементам с целью улучшения экологической ситуации, формирования концепции общественных пространств (рис. 4, 5). Кроме многофункциональных гаражных комплексов с техническим обслуживанием автомобилей, овощехранилищами, мелкими торговыми лавками автозапчастей и другими функциями, на освободившейся территории ГК размещены несколько «узлов» с объектами общественного назначения. Центр спокойного отдыха включает небольшие торговые залы и магазины, мини-кафе. Центр активного отдыха содержит амфитеатры для массовых гуляний и проведения праздников, систему спортивных площадок. Центр пассивного отдыха состоит из скверов, прогулочных аллей, а продолжение пешеходной оси к заливу Якоби обогатит духовный

²Parking Standards Design and Good Practice Supplementary Planning Document / Rochford District Council, Essex County Council on behalf of Essex Planning Officers Association. 2009. С. 78. URL: https://www.rochford.gov.uk/sites/default/files/planning_parking_standards_design_and_good_practice.pdf (11.04.2022).

центр с храмом. Рядом с новым многофункциональным гаражным комплексом (МФГК) по улице Академическая предлагается возведение высотного офисного центра.

В результате исследования были выполнены проекты с вариантным представлением концептуального развития фрагментов жилых территорий, предложены базовые принципы механизма изъятия земли, занятой ГК, и размещения многофункциональных многоуровневых гаражных комплексов. В 2020 и 2021 годах состоялись успешные защиты выпускных квалификационных работ А. А. Копанева и М. В. Малкиной по модернизации территорий ГК в Свердловском округе Иркутска. Итоги работы также были представлены на заседании Общественного совета 14 мая 2021 года при Службе архитектуры Иркутской области с участием главного архитектора города Иркутска А. М. Жукова и других представителей архитектурной общественности. В целом, работа получила высокую оценку и была одобрена. Предложено дополнить презентацию экономическим, юридическим и экологическим разделами с обоснованием целесообразности модернизации территории гаражных

кооперативов для представления потенциальным инвесторам и заинтересованным лицам.

Заключение

В статье рассмотрен принцип модернизации территорий гаражных кооперативов, предложены варианты перспективного развития этих площадок. Все новые объекты в Кочумовском Логе планируется скомпоновать на площади меньшей, чем прежние участки кооперативов, в 2–3 раза при одновременном увеличении парковочных мест и гаражных боксов в 3 раза и более.

Таким образом, при сокращении площади застройки существующих ГК количество объектов обслуживания увеличится, повысится комфорт рекреации и экологические характеристики пойменных территорий ручья Кузьмиха, улучшится комфорт прилегающих жилых территорий микрорайонов, появятся новые объекты культурно-бытового обслуживания населения. После запуска пилотного проекта модернизации территорий гаражных кооперативов на локальной площадке и отработки юридических и экономических сторон этого процесса описанный метод может применяться на любой площадке страны.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Распутин В. В. Разумный рост и развитие города // Проект Байкал. 2016. № 13 (47–48). С. 32–33. <https://doi.org/10.7480/projectbaikal.47-48.993>.
2. Albagul A., Alsharef K., Saad M., Abujeela Y. Design and Fabrication of an Automated Multi-level Car Parking System // Manufacturing Engineering, Automatic Control and Robotics. 2013. p. 173–178. URL: https://www.researchgate.net/publication/277775104_Design_and_Fabrication_of_an_Automated_Multi-level_Car_Parking_System (10.04.2022).
3. Rathi M. K., Patel D. V. Different types of Parking Spaces and Multiple Level Car Parking // Civil Engineering Portal. 2013. URL: <https://www.engineeringcivil.com/different-types-of-parking-spaces-and-multiple-level-car-parking.html> (11.04.2022).
4. Parmar J., Das P., Dave S. M. Study on demand and characteristics of parking system in urban areas: A review // Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition). 2020. Vol. 7. Iss. 1. p. 111–124. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2019.09.003>.
5. Manukhina L. Analysis of modern approaches to the organization of parking areas in major cities // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 193. p. 01037. <https://doi.org/10.1051/matec-conf/201819301037>.
6. Колесова О. Н., Гусарова Е. А. Проблемные аспекты гаражного вопроса в Российской Федерации // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2019. №12-4 (39). С. 62–64. <https://doi.org/10.24411/2500-1000-2019-11987>.
7. Силина Т. А. Проблемы правового регулирования деятельности гаражно-строительных кооперативов // Юридическая наука: история и современность. 2016. № 2. С. 79–82.
8. Петрушкин В. А. О некоторых проблемах правовой квалификации статуса пользователей земельных участков, предоставленных гаражно-строительным кооперативам, на праве постоянного (бессрочного) пользования // Вестник Саратовской государственной юридической академии. 2020. № 3 (134). С. 130–136. <https://doi.org/10.24411/2227-7315-2020-10077>.
9. Тыканова Е. В. Город как территория неравенства: оспаривание сноса гаражных строений в Санкт-Петербурге // Петербургская социология сегодня. 2017. № 8. С. 54–72.
10. Погосян Э. С., Кавалаглио А. В. Принципы ландшафтной организации деградированных территорий гаражных массивов на примере города Нижний Новгород // Вестник науки. 2019. Т. 5. № 9 (18). С. 22–26.

11. Неведов В. А. Ландшафтный дизайн и устойчивость среды. СПб.: Полиграфист, 2002. 295 с.
12. Неведов В. А. Городской ландшафтный дизайн. СПб.: Любавич, 2020. 320 с.

13. Груб Г. Зелень между домами. Munich: Bavarian Mortgage and Bill Ban, Joint Stock Company, 1990. 200 с.

REFERENCES

1. Rasputin V. Smart Growth and Development of the City. *Project Baikal*. 2016;13(47-48):32-33. <https://doi.org/10.7480/projectbaikal.47-48.993>. (In Russ.).
2. Albagul A, Alsharef K, Saad M, Abujeela Y. Design and Fabrication of an Automated Multi-level Car Parking System. *Manufacturing Engineering, Automatic Control and Robotics*. 2013. p. 173-178. Available from: https://www.researchgate.net/publication/277775104_Design_and_Fabrication_of_an_Automated_Multi-level_Car_Parking_System [Accessed 10th April 2022].
3. Rathi MK, Patel DV. Different types of Parking Spaces and Multiple Level Car Parking. *Civil Engineering Portal*. 2013. Available from: <https://www.engineeringcivil.com/different-types-of-parking-spaces-and-multiple-level-car-parking.html> [Accessed 11th April 2022].
4. Parmar J, Das P, Dave SM. Study on demand and characteristics of parking system in urban areas: A review. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*. 2020;7(1): 111-124. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2019.09.003>.
5. Manukhina L. Analysis of modern approaches to the organization of parking areas in major cities. *MATEC Web of Conferences*. 2018;193:01037. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201819301037>.
6. Kolesova ON, Gusarova EA. Problem aspects of the garage question in Russian Federation. *Mezhdunarodnyi zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk = International journal of humanities and natural sciences*. 2019;12-4(39):

62-64. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/2500-1000-2019-11987>.
7. Silina TB. Problems of Legal Regulation of Activity Garage-Building Cooperatives. *Yuridicheskaya nauka: istoriya i sovremennost' = Legal science: history and the presence*. 2016;2:79-82. (In Russ.).
8. Petrushkin VA. About Certain Problems of Legal Qualification of Land Plots' Users Status Granted to Garage Construction Cooperatives on the Right of Permanent (Indefinite) Usage. *Vestnik Saratovskoi gosudarstvennoi yuridicheskoi akademii*. 2020;3(134):130-136. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/2227-7315-2020-10077>.
9. Tykanova EV. The City as a Territory of Inequality: Contestation of Garage Spots Demolition in St. Petersburg. *Peterburgskaya sotsiologiya segodnya = St. Petersburg Sociology Today*. 2017;8: 54-72. (In Russ.).
10. Pogosyan ES, Kavalaglio AV. Principles of landscape organization of degraded territories of garages on the example of the city of Nizhny Novgorod. *Vestnik nauki*. 2019;5(9):22-26. (In Russ.).
11. Nefedov VA. Landscape design and environmental sustainability. Saint-Petersburg: Poligraphist; 2002. 295 p. (In Russ.).
12. Nefedov VA. Urban landscaping. Saint-Petersburg: Lubavitch; 2020. 320 p. (In Russ.).
13. Grub H. Greenery between the houses. Munich: Bavarian Mortgage and Bill Ban, Joint Stock Company; 1990. 200 p. (In Russ.).

Информация об авторе

И. Е. Дружинина,
профессор, профессор кафедры
архитектурного проектирования,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
<https://orcid.org/0000-0003-0602-4364>

Information about the author

Inna E. Druzhinina,
Professor, Professor of the Department of
Architectural Design,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,
<https://orcid.org/0000-0003-0602-4364>

Вклад автора

Дружинина И. Е. провела исследование, подготовила рукопись к печати и несет ответственность за плагиат.

Contribution of the author

Druzhinina I. E. 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.

Статья поступила в редакцию 16.06.2022.
Одобрена после рецензирования 12.07.2022.
Принята к публикации 14.07.2022.

Conflict of interests

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

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

The article was submitted 16.06.2022.
Approved after reviewing 12.07.2022.
Accepted for publication 14.07.2022.



Архитектурно-пространственные данные: к вопросу о конструкции стен Албазинского острога

© Владимир Ильич Трухин¹, Борис Павлович Яровой²

¹Амурский государственный университет, г. Благовещенск, Россия

²Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Яровой Борис Павлович, boris-yarovoj@yandex.ru

Аннотация. Фортификационные сооружения Сибири XVII–XVIII вв. – это один из важных разделов русского деревянного зодчества, значимый как для общей истории развития деревянной архитектуры, так и для региональной. Выявление особенностей архитектурно-строительных приемов возведения крепостей в эпоху присоединения Сибири, в частности Восточной Сибири и Приамурья, к России является неотъемлемой частью изучения общей картины основания острогов и поселений. Цель исследования заключается в уточнении значений таких архитектурно-строительных терминов русского деревянного оборонного зодчества, как «городня» и «нагородня», которые встречаются в исторических документах, составленных в XVII веке русскими землепроходцами – строителями крепостей. В работе использовались следующие методы: системный подход, метод использования аналогов, комплексный подход с применением архитектурно-пространственных маркеров – единиц специфической историко-архитектурной и градостроительной информации, сохранившихся в данных об интересующем нас объекте. Текстовые, графические, археологические сведения являлись базовыми в данном исследовании и дополняли друг друга. Основными результатами стали расширение значений архитектурно-строительных терминов «городня» и «нагородня» XVII–XVIII вв., а также графическая реконструкция стен Албазинского острога в соответствии с новыми научными данными. Ранее уже были предложены варианты реконструкции таких крепостных стен, но в данной работе уточнения имеют более объективный характер. Результаты работы могут быть использованы для более точной организации историко-архитектурных, градостроительных, археологических работ, реставрационных и реконструкционных видов процессов.

Ключевые слова: фортификационные сооружения, нагородня, городня, остроги Сибири и Приамурья, реконструкция утраченного объекта, архитектурно-пространственные модели

Для цитирования: Трухин В. И., Яровой Б. П. Архитектурно-пространственные данные: к вопросу о конструкции стен Албазинского острога // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 3. С. 430–441. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-3-430-441>.

Original article

Architectural and spatial data: revisiting the wall structure of the Albazino Ostrog

Vladimir I. Trukhin¹, Boris P. Yarovoi²

¹Amur State University, Blagoveshchensk, Russia

²Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Corresponding author: Boris P. Yarovoi, boris-yarovoi@yandex.ru

Abstract. The Siberian fortifications of the 17–18th centuries represent an important part of Russian wooden architecture, significant both for world and local histories of the development of wooden architecture. The identification of specific architectural and construction approaches used to erect fortresses during the epoch of the accession of Siberia to Russia, namely the East Siberia and the Amur Region, is essential for studying the main principles of establishing ostrogs (fortresses) and settlements. The study is aimed at clarifying the meaning of such architectural and construction terms of Russian wooden fortification architecture as “gorodnya” and “nagorodnya”, which are encountered in historical sources of the 17th century compiled by Russian explorers and fortress builders. The following research methods were used: systemic approach, analogic method and complex approach with the application of architectural

3D markers representing the units of specific historico-architectural and town-building information, which were preserved in the data about the studied object. Textual, graphic and archaeological materials were used. The main results included the widening of "gorodnya" and "nagorodnya" architectural and construction terms of the 17–18th centuries, as well as the graphic reconstruction of Albazino Ostrog walls in accordance with new scientific data. Despite the fact that options for the reconstruction of such fortress walls have been proposed previously, the clarifications in this work are more objective. The obtained results can be used for a more precise organisation of historical, architectural, town-building and archaeological works, as well as in restoration and reconstruction processes.

Keywords: fortifications, nagorodnya, gorodnya, fortresses of Siberia and the Amur region, reconstruction of a lost object, architectural and spatial models

For citation: Trukhin V. I., Yarovoi B. P. Architectural and spatial data: revisiting the wall structure of the Albazino Ostrog. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(3):430-441. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-3-430-441>.

Введение

Несмотря на большое количество трудов по русскому оборонному зодчеству XVII века, не на все вопросы о конструктивных особенностях оборонительных сооружений данного столетия имеются однозначные ответы. Вызвано это прежде всего тем, что археология, как правило, дает представление лишь об общей планировке и в лучшем случае информацию о самых нижних уровнях этих объектов. Не всегда можно выяснить особенности конструкции фортификационных сооружений и в даже очень подробных исторических описаниях деревянных крепостей того времени. Отсутствие единства в современных представлениях об устройстве этих оборонительных сооружений вызвано и достаточно многообразной строительной терминологией XVII века.

Вышеупомянутые трудности возникли и при попытке реконструировать внешний облик Албазинского острога. В последней четверти XX века в работах А. Р. Артемьева [1] и Н. П. Крадина [2] были представлены исторически наиболее обоснованные реконструкции этого крепостного сооружения. И хотя они имеют некоторые принципиальные различия, в целом они базируются на двух исторических документах. Это «Росписной список людей, казны, хлеба, имущества и книг Албазинского острога, составленный приказным человеком Семеном Михайловым при приеме этого острога от приказного человека Албазинского острога Никифора Черниговского 1674 года»¹ (далее «Росписной список ...»), и «Роспись Албазинского острога 1684 года» [3]. К

настоящему времени тексты этих краеугольных для истории Албазинского острога документов уточнены по их оригиналам и опубликованы [4, 5].

Однако первым ввел в научный оборот «Роспись Албазинского острога 1684 года» [3], являющуюся составной частью «Книги великих г(о)с(у)д(а)рей царей и великих князей Иоанна Алексеевича Петра Алексеевича всеа великия и малыя и белыя Росии самодержцев переписная Албазинского острогу и състрожному всякому строенью и что около острогу всяких острожных крепостей»² (далее «Книга...»), В. И. Кочедамов [6]. Именно он на ее основе создал и первую реконструкцию внешнего облика Албазинского острога [7, с. 56–57].

К сожалению, первые археологические данные о конструкциях стен Албазинского острога появились только через два года после издания труда В. И. Кочедамова³. А использованная в «Книге...» в описании крепостных стен формулировка привела к неверной интерпретации этого документа (рис. 1).

Позднее такая реконструкция стен Албазинского острога неоднократно тиражировалась. Так, аналогично стены Албазинского острога были реконструированы Н. П. Крадиным (рис. 2).

Приведем отрывок документа: «...с трех сторон по острогу нарублены городни и покрыты двойным тесом з зупцами. А с внутренюю сторону того острога плетен плетень. А от острогу поперег ширина в аршин и земли насыпан. А в вышину плетень по острогу кругом

¹РНБ. Опись основного собрания русских актов и грамот. Ч. V: Годы 1514 г. – XVIII в. № 4595. С. 54, 2 л.

²СПФ АРАН. Ф. 21. Оп. 4. Ед. хр. 24. Ч. 4. № 269. Л. 412–415.

³Сухих В. В. Хозяйственное освоение Приамурья русскими в XVII веке (По материалам раскопок Албазинской крепости): дис. ... канд. ист. наук: в 2 т. Новосибирск, 1979. Т. 2: Приложение. 231 с.

сажень печатная. Полаты поперег сажень. И с полатей сквозь острог поделаны бойницы.

А под полатами сквозь плетень и острог бойницы же И на те полаты к верхнему бою на острог зделано семь лесниц. А вышины тому острогу до зубцов пол третьи сажени...»⁴. Вне всякого сомнения, причиной ошибочной

интерпретации этого исторического текста стал термин «городня». Наши современники трактуют его однозначно: городня – элемент деревянной конструкции, бревенчатый сруб (клеть), заполненный землей и камнем, часть, звено крепостной стены в XV–XVII вв., пролет моста⁵.

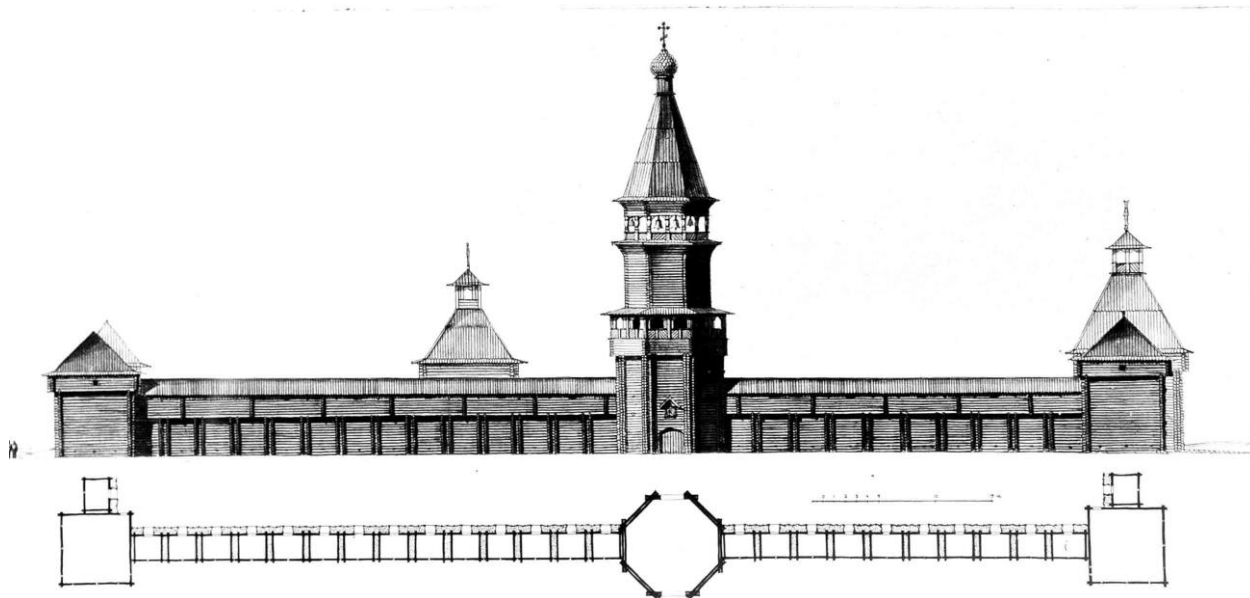


Рис. 1. План и фасад южной стены Албазинского острога. Реконструкция В. И. Кочедамова [7, с. 57]

Fig. 1. Plan and facade of the southern wall of the Albazinsky fortress. Reconstruction by V.I. Kochedamov [7, p. 57]



Рис. 2. Макет Албазинского острога. Автор Н. П. Крадин

Fig. 2. Model of the Albazinsky fortress. Author N. P. Kradin

Однако в XVII веке этот термин применялся и в более широком смысле. В «Словаре русского языка XI–XVII вв.» термин «городня»

трактруется как часть (пролет, звено) моста, городской или крепостной стены или даже просто – ограда, стена⁶, что в корне меняет смысл

⁴СПФ АРАН. Ф. 21. Оп. 4. Ед. хр. 24. Ч. 4. № 269. Л. 413 об.

⁵Юсупов Э. С. Словарь терминов архитектуры. СПб.: Фонд «Ленингр. Галерея», 1994. С. 101.

⁶Словарь русского языка XI–XVII вв. Вып. 4 (Г–Д) / Институт русского языка АН СССР. М.: Наука, 1977. С. 92.

приведенного текста. Кроме того, о том, что конструкция стены была реконструирована неверно, могут говорить сведения об укреплении стены плетнем с засыпкой пространства между ним и стеной землей. Такое дополнительное усиление стен, выполненных в виде бревенчатого сруба, плетнем и засыпкой между ним и стеной землей так, как изображено на реконструкции В. И. Кочедамова, по существу, бессмысленно (рис. 1). Впервые на эту ошибку обратил внимание А. Р. Артемьев. Проводимые им раскопки подтвердили данные, полученные еще В. В. Сухих, о том, что конструкция стен Албазинского острога была тыновой. В своем исследовании он указал, что основной причиной этого ошибочного представления об оборонительных сооружениях крепости стало некорректное использование воеводой А. Л. Толбузиным при составлении описи острога термина «городня» [1, с. 110]. Однако вряд ли с этим можно согласиться. Отправляя свой отчет о приемке Албазинского острога царю, А. Л. Толбузин наверняка его проверил и спутать стену, построенную в виде срубов, с тыном не мог.

Методы

В исследовании применяются такие методы, как системный подход, метод использования аналогов, комплексный подход с применением архитектурно-пространственных маркеров – единиц специфической историко-архитектурной и градостроительной информации, сохранившихся в данных об интересующем нас объекте. Текстовые, графические, археологические сведения являлись базовыми в данном исследовании и дополняли друг друга. Кроме того, можно считать научным экспериментом приводимые здесь варианты графической реконструкции.

Результаты и их обсуждение

Уточнить конструкцию стен могут помочь иные документы, содержащие аналогичную информацию. В отписке о завершении строительства Албазинского острога, отправленной из него 22 марта 1684 года Нерчинскому воеводе Ф. Д. Воейкову приказчиком Албазинского острога Иваном Войлочниковым, говорится: «...Ведомо тебе буди за помощью праведнаго б(о)га Албазинской новой острог и з башнями и острожными крепи построен весь до готова.

Верх острога нарублен нагороднею и покрыт двойным тесом в зубцы. И полати под верхним боем намощены и з земли лесницы зделаны. А с нутрянную сторону подле острожные стены плетень таловой в колье заплетен и землею и хрящем подле стены осыпан. С подошвы в вышину осыпь в печатную сажень, поперег пол сажени...»⁷. Кажется, что этот документ все проясняет, и в отписке, отправленной царю А. Л. Толбузиным, допущена описка, совершенная, скорее всего, переписчиком в XVIII веке⁸, и речь идет не о «городнях», а о «нагороднях». И это тем более кажется правильным потому, что и первый Албазинский острог, построенный в 1665/1666 годах, имел нагородню. В «Росписном списке...» 1674 года о первом Албазинском остроге сказано: «...И я Семен приехав в Албазинской острог у него Ни[ки]фора по указу Великих Г(о)с(у)д(а)р(е)й принял Г(о)с(у)д(а)р(е)в Албазинской острог с нагороднею покрыт те[со]м...»⁹. Но есть еще один документ, содержащий описание конструкций стен Албазинского острога. Для полноты информации приведем выдержку и из него. В челобитной приезжих торговых и промышленных людей Албазинского острога, написанной в декабре 1683 года, о возведении оборонительных сооружений говорится: «...албазинской приказной Иван Семенов нас, сирот ваших, в Албазинском остроге задержал, велел нам, сиротам вашим, Албазинской новой острог [ставить]. И мы, сироты ваши, ставили при Ондрие Фед[о]ровиче Воейкове с албазинскими казакам[и] и с пашенными кр(е)стьяны достраивать верх нарубить и огородни и полати и верной¹⁰ бой гот[о]вить. И острог крыть и башни нарубить и ров копать и чеснок бить и засыпи из острогу засыпать и крепь крепить для осадного времени неприятельски[х] богдойских людей...»¹¹.

Описание работ, выполненных торговыми и промышленными людьми, по возведению острога получилось достаточно путанным, но все основные элементы конструкции стен названы, отсутствует только «нагородня». На первый взгляд, вместо нее появился новый термин – это «огородня». Как правило, он употребляется в значении, близком к термину «городня», и трактуется как звено городской стены и даже как часть городской стены в виде

⁷РГАДА. Ф. 1142. Оп. 1. Д. 26. Л. 49.

⁸Документ сохранился только в копии XVIII века, и поэтому полностью гарантировать соответствие копии оригиналу вряд ли возможно.

⁹РНБ. Опись основного собрания русских актов и грамот. Ч. V: Годы 1514 г. – XVIII в. № 4595. С. 54, л. 1.

¹⁰Так в тексте. Должно быть: «верхней».

¹¹РГАДА. Ф. 1142. Оп. 1. Д. 23. Л. 143.

бревенчатого сруба¹². Однако внимательное прочтение этого документа заставляет нас отделить верх острога, который надо было нарубить, от «огорожен», которые надо было делать вместе с полатыми верхнего боя. Вполне вероятно, это два разных элемента стены. В описаниях стен Албазинского острога синонимические термины «городня» и «огородня» были использованы в значении «огораживать некоторый объем стены, засыпанный грунтом». И совершенно не важно, что часть этого ограждения была не бревенчатой, а представляла собой таловый плетень.

Необходимо отметить, что термин «городня» тесно связан с обозначением профессиональной деятельности зодчих – плотников, мастеров, строителей, производителей работ, руководителей артелей – «городников», или «огородников» [8]. К вопросу толкования данных понятий в разное время обращались исследователи. Так, в одной из публикаций сказано: «Обратим внимание на архитектурные особенности детинца. Построение такого укрепления, как детинец, т.е. своего рода замка, невозможно без участия средневековых... огородников, которые возводили укрепления русских городов... плотницкая артель строителей, находящаяся в распоряжении новгородского владыки, состояла из 6 плотников, то есть главных мастеров, и 10 дружинников, скорее всего, подразумеваются подмастерья плотников. Вероятно, городники были зодчими, достаточно осведомленными о строительстве средневековых укреплений. Их инженерное мастерство было высокопрофессиональным, если ими создавались не только крепостные стены, но и укрепления внутри них... на создание и поддержание городских укреплений затрачивались немалые средства. Поэтому забота о городских укреплениях, типичная для средневековых городов Западной Европы, была хорошо знакома русским горожанам. В церковном Уставе Ярослава Мудрого находим указание на “городное”, пошлину, которая, видимо, шла на “городное” строительство» [9].

При изучении семантики интересующих нас терминов выяснилось, что исследователи выделяют пути происхождения данных слов, подтверждающие наши гипотезы. Так, в статье д-ра филол. наук С. Г. Шейдаевой находим: «...слова – это наименования “от пользователя”, для которого главное не то, как предмет сделан, а его функция. Слова городьба,

ограда, изгородь, загородка, перегородка и др. связаны с представлением о защищенном, огороженном и отгороженном месте... Различия в номинациях объясняются изменением взгляда именуемого субъекта на именуемый объект, а активность субъекта проявляется прежде всего в отборе тех черт объекта или объектов, которые он кладет в основу классификации. В языковом коллективе отбор признаков объектов носит общественный характер. Городьба, городь, изгородь, ограда, городити, огораживать, например: “городьба в поле и во дворе, и в огороде” (XVI в.), “а около двора и огорода кругом городьба в заборех” (1654). У слова городьба также имелось значение “действие по глаголу”, как и у слова забор, но, в отличие от последнего, фиксировалось еще и значение “огороженный участок земли”. Известно, что и слово город имело в прошлом такие значения, как “то, чем огораживают, огороженное место”» [10].

Итак, сейчас ошибка, связанная с вышеуказанными различиями в понимании значений слова «городня», исправлена. Определения слов «городня» и «огородня» следует расширить, включив в них значение «звено крепостной стены, содержащее заполненный землей и камнем объем, огороженный бревенчатым срубом, тыном и (или) иными конструкциями, например такими, как плетень». Такое устройство стен подтверждается и археологическими данными и историческими документами, однако полную ясность относительно конструкции стены это исправление не вносит, поскольку ни одного объекта, дошедшего до нашего времени и содержащего «нагородню», не сохранилось.

Впрочем, в последнем описании конструкций стены совсем не упоминается «нагородня», лишь указано, что верх необходимо было «нарубить». Поэтому можно предположить, что «нагородней» строители называли конструкции кровли стен, которые были покрыты «двойным тесом с зупцами». Именно так была реконструирована крепостная стена Албазинского острога при создании трехмерной модели [11] этого оборонительного сооружения (рис. 3).

К сожалению, «Словарь русского языка XI–XVII вв.» также не вносит ясность в определение термина «нагородня», выдвигая предположение, что это был «род укреплений (вышка?)»¹³.

¹²Словарь русского языка XI–XVII вв. Вып. 12 (О–Опарный) / Институт русского языка АН СССР. М.: Наука, 1987. С. 252–253.

¹³Словарь русского языка XI–XVII вв. Вып. 10 (Н–НАЯТИСЯ) / Институт русского языка АН СССР. М.: Наука, 1983. С. 55.

С. Н. Баландин считал, что «нагороднями» часто оборудовались ясачные зимовья и избы. Они представляли собой парапет, срубленный из бревен. Его высота составляла 1–1,2 метра, и данная конструкция была продолжением стены над перекрытием ясачного зимовья. Ясачные сборщики при осаде зимовья

поднимались на перекрытие и из-за «нагородней» отражали нападение противника [12, с. 11].

Мнение Н. П. Крадина, известного исследователя деревянного оборонного зодчества, было несколько отличным от этого. Он считал, что «нагородня» – это прототип облама [13].



a



b

Рис. 3. Реконструкция стен Албазинского острога: *a* – вид изнутри; *b* – вид снаружи [11, с. 51]
Fig. 3. Reconstruction of the walls of the Albazinsky fortress: *a* - view from the inside; *b* - outside view [11, p. 51]

Легко представить наличие таких парапетов на крыше сруба ясачного зимовья или избы. Они могли и выходить за периметр этих строений, являясь по существу обламами, однако возвести такой бревенчатый бруствер над тыновой стеной не так просто. И если албазинские казаки его возвели, то такая конструкция должна была иметь широкое распространение. Попробуем найти аналоги этого сооружения в исторических документах. Так, в Нерчинском остроге в 1669/1670 годах под руководством Нерчинского приказного человека Д. Аршинского тыновые стены были укреплены путем устройства на них обламов, покрытых тесом: «...Да в нынешнем же во 178-м году сделал я, холоп ваш, Великих Государей, с нерчинскими служилыми людьми на остроге облавы¹⁴, и покрыты тесом...»¹⁵. Несмотря на то, что в данном тексте термин «нагородня» не употребляется, такое описание вполне может раскрыть ее конструктивную особенность. Весьма существенным подтверждением синонимичности терминов «нагородня» и «облам» является свидетельство албазинского казака Ивана Коркина. В расспросных речах этого казака есть описание конструкций стен так называемого «малого» Албазинского острога,

построенного в 1665/1666 годах. В частности, Иван Коркин сказал: «А острог де Албазинской во все четыре стены по дватцати сажень и обламами покрыт, да три башни»¹⁶. Как мы указывали выше, при приемке этого острога в 1674 году он имел нагородню, покрытую тесом¹⁷. Эти расспросные речи примечательны еще и тем, что из них следует, что облам включал в себя и конструкции кровли, устроенные над ним.

Интересную реконструкцию острожной стены Обоянского острога в своей работе представили М. М. Озеров и И. П. Бабин [14] (рис. 4). Она была создана по росписи Обояни 1651 г. Конструктивно она очень близка к предполагаемой конструкции стен Албазинского острога. Принципиальным отличием является лишь то, что засыпка грунта в Обоянском остроге производилась в тарасные конструкции, а в Албазинском эту засыпку ограничивал «таловый плетень».

Обламные конструкции стен, аналогичные «нагородне», встречались и в европейских каменных средневековых крепостях [15] (рис. 5). Но конструктивно они могли значительно отличаться от таких же конструкций сибирских острогов.

¹⁴То же, что обламы (Словарь русского языка XI-XVII вв. Вып. 12 (О–Опарный) / Институт русского языка АН СССР. М.: Наука, 1987. С. 62).

¹⁵РГАДА. Ф. 214. Оп. 3. Д. 1659. Л. 97.

¹⁶РГАДА. Ф. 214. Оп. 3. Ст. 720. Л. 31.

¹⁷РНБ. Опись основного собрания русских актов и грамот. Ч. V: Годы 1514 г. – XVIII в. № 4595. С. 54, л. 1.

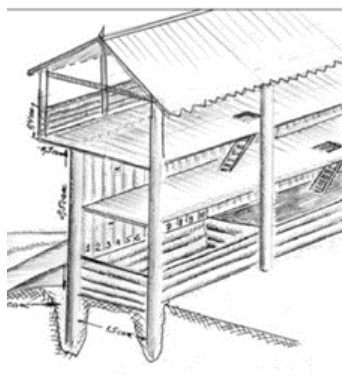


Рис. 4. Реконструкция стен Обоьянского острога [14, с. 51]
Fig. 4. Reconstruction of the walls of the Oboyan fortress [14, p. 51]

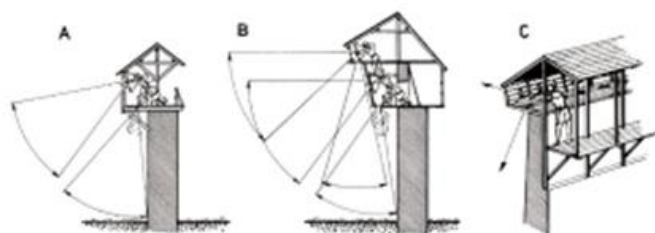


Рис. 5. Обламные конструкции средневековых европейских крепостей, аналогичные «нагородне» [15]
Fig. 5. Oblamnye constructions of medieval European fortresses, similar to the “nagorodnya” [15]

При этом этимология слова «нагородня» относит нас к самой, казалось бы, простой ситуации: «нагородня» – это конструкция на “городне”. Тем удивительнее устойчивость терминологии, различающей «облам» и «нагородню». Для объяснения данного феномена предлагается использовать подход поиска архитектурно-пространственных данных, которые были не использованы полностью ранее. Речь идет об архитектурно-пространственных маркерах, неизменно присутствующих в информационном памятном поле даже утраченного объекта. Ряд тезисов на данную тему, которые можно применить в нашем исследовании, изложил Б. П. Яровой в своем докладе на IV Всероссийской научно-практической конференции «Градостроительство: теория, практика, образование» 2022 г. По его мнению, независимо от времени утраты архитектурного объекта, независимо от воздействий на объект во времени и пространстве, в границах этого объекта могут сохраняться потенциально объективные данные, характеризующие утраченный объект и представляющие его определенные параметры. Такие данные взаимосвязаны с объектами и явлениями, окружающими границы утраченного объекта. Исходя из этого утверждения, взятого за основу, можно сделать следующее предположение: указанные данные и взаимосвязи могут быть не только

обнаружены, но и классифицированы. При успешном подтверждении такой гипотезы на практике, например в результате археологических работ, организованных для проверки вышеуказанных предположений, есть вероятность структурировать объемы информации в предварительных исследованиях, выявляя данные, являющиеся осколками бытия утраченного объекта, и предложить уточненную схему работы с информацией по утраченным объектам. В нашем случае к таким данным можно смело отнести ранее не использованный исследователями в подобном контексте факт, что стены Албазинского острога в своей конструкции имели «нагородню». Исключение составляет участок стены, протянувшийся вдоль довольно крутого берега Амура. Эта сторона была защищена природными условиями, ландшафтными факторами, что известно из упомянутого нами исторического документа. Несомненно, представляет научный интерес то, какова была конструкция и этой стены. Однако теперь этот факт, являющийся архитектурно-пространственным маркером информации, дает полное право считать, что все остальные стены были укреплены с военной точки зрения гораздо лучше. И это лучшее качество крепостным стенам придала именно конструкция «нагородни». Сравнивая возможности разных фортификационных

особенностей крепостных стен и зная возможные ресурсы защитников острога, можно смело предполагать, что «нагородня» добавляла еще один уровень ведения боя и контроля над местностью. Варианты такой конструкции мы предлагаем рассмотреть далее.

Принимая идентичность понятий «нагородня» и «облам» по их назначению, следует

отметить, что, вероятно, различаются они только по их архитектурно-строительному исполнению. Мы предполагаем, что нагородня, в отличие от облама, – это не срубная конструкция, а, возможно, каркасная. Здесь уместно привести как пример конструкцию выносных балконов, часовен «на свесах» (рис. 6).



Рис. 6. Часовня «на свесах» над воротами проезжей башни Илимского острога в музее «Тальцы»
Fig. 6. Chapel “on eaves” above the gates of the travel tower of the Ilim fortresses in the Taltsy Museum

Однако, в отличие от авторов предшествующих графических реконструкций, мы предполагаем, что нагородня могла иметь конструкцию как открытой галереи, так и закрытого объема. Следует подчеркнуть, что, таким образом, если наши предположения верны, то различие терминов «облам» и «нагородня» представляет собой явление еще более интересное с точки зрения и градостроительства, и теории, и истории архитектуры, а именно: сходные по объемно-пространственным показателям конструкции наши зодчие-«городники» именовали по-разному из-за разного архитектурно-строительного подхода к их исполнению. Это еще одна страница ненаписанной русской истории архитектуры. Иными словами, архитектура этих монументальных сооружений была разной, и наши зодчие это обозначили в двух коротких, но емких терминах.

В данной авторской реконструкции впервые среди подобных исследований предполагаем, что вариант нагородни – как облама – мог быть выполнен не в срубной, а в каркасной столбчатой конструкции. В этом случае верх стены получался более легким, а также имела место и экономия материала: стены, выполненные «в заплот», или, по-другому, «в столб»

или «в забир» были из плах, а длина вертикальных столбов, вкопанных в грунт, могла быть меньше, чем во втором варианте. Также стоит отметить, что наклон кровли мог играть существенную роль. Так, в случае более крутого угла наклона кровли (45 градусов) пространство внутри нагородни становилось больше, чем при более пологом скате (40 градусов). А это, в свою очередь, играло не последнюю роль в эргономике помещения, например, это могло сказываться при перезарядке огнестрельного оружия и при выборе способа ведения боя. В определении конструктивных особенностей такой стены также можно исходить из архитектурно-пространственных маркеров информации. Так, из исторического описания крепости известно расстояние от уровня земли до «зупцов» кровли – 2,5 сажени. Этот факт влияет, в совокупности с требованиями к крепостной стене как к оборонительному сооружению, на ее объемно-пространственную схему. При воссоздании ее конструкций становится понятно, что в 1 варианте (рис. 7) верхний бой имеет неоправданно большую высоту до кровли по отношению к нижнему ярусу. Логично представить, что при более крутых скатах кровли можно добавить

еще один верхний ярус. Наиболее развитым в отношении использования объема крепостной стены является вариант каркасно-столбчатой конструкции нагородни. В этом случае она выступает за внешнюю линию тына. При этом ее кровля покрыта тесом, а ее конструкция не является стропильной, поскольку это не характерно для того времени и затратно по многим причинам. Конструкция и расположение бойниц в нагородне предполагают ведение боя

как стоя, так и с колена. Таким образом, в ходе проводимых исследований по данному вопросу были получены новые научные данные, которые позволили нам ввести в научный оборот уточненные архитектурно-строительные термины из русского деревянного оборонного зодчества «городня» и «нагородня», а также произвести графическую реконструкцию возможных вариантов конструкции стен Албазинского острога (рис. 7–9).

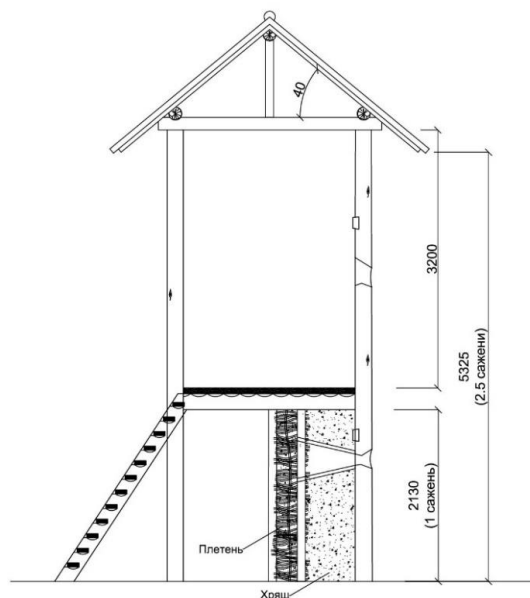


Рис. 7. Вариант № 1. Конструкция стены с «городней» и «нагородней». Авторская реконструкция (Яровой Б. П., Трухин В. И.)

Fig. 7. Option number 1. The design of the wall with the “gorodnya” and “nagorodnya”. Author’s reconstruction (Yarovoi B. P., Trukhin V. I.)

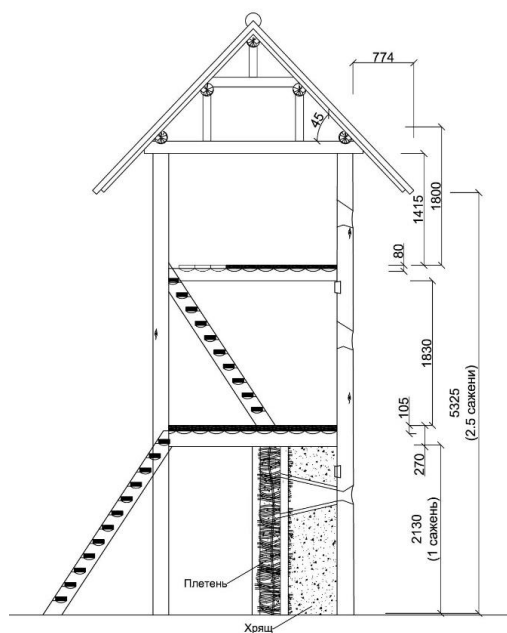


Рис. 8. Вариант № 2. Конструкция стены с «городней» и «нагородней». Авторская реконструкция (Яровой Б. П., Трухин В. И.)

Fig. 8. Option number 2. The design of the wall with the “gorodnya” and “nagorodnya”. Author’s reconstruction (Yarovoi B. P., Trukhin V. I.)

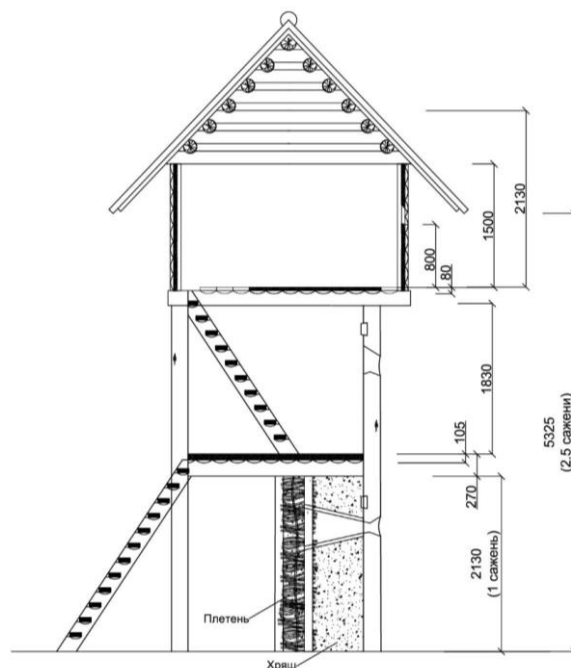


Рис. 9. Вариант № 3. Конструкция стены с «городней» и «нагородней». Авторская реконструкция (Яровой Б. П., Трухин В. И.)

Fig. 9. Option number 3. The design of the wall with the “gorodnya” and “nagorodnya”. Author’s reconstruction (Yarovoi B. P., Trukhin V. I.)

Заключение

Подводя итог вышесказанному, можно сделать следующие выводы:

- Определения терминов «городня» и «огородня» следует расширить, включив в них значение «звено крепостной стены, содержащее заполненный землей и камнем объем, огороженный бревенчатым срубом, тыном и (или) иными конструкциями, например такими, как плетень».

- Термин «нагородня» применительно к крепостной стене может обозначать ее верхний этаж, имеющий каркасную конструкцию и обламоподобный выступ. Как правило, нагородня была крыта тесом, в ее полу и стенах устраивались стрельницы, и через них всеми доступными средствами обороняющиеся могли поражать противника, прорвавшегося к крепостным стенам.

- Стены Албазинского острога представляли собой конструкцию, имеющую три уровня.

Сами стены были тыновыми. На первом уровне вдоль них был заплетен ивовый плетень. От тына плетень отстоял на ширину от одного аршина до половины сажени. Сквозь плетень и тын были проделаны бойницы нижнего боя. Высота плетня была равна сажени. Пространство между плетнем и тыном было заполнено грунтом. Параллельно тыновому ограждению были установлены столбы, на которые опирались балки боевого помоста и другие вышележащие конструкции. Помост устанавливался сразу над плетнем на высоте от земли в сажень. Ширина помоста – сажень. Высота второго уровня также была равна сажени. Высота тына до зубцов тесового покрытия кровли стены составляла 2,5 сажени. Третий уровень, вероятно, представлял собой нагородню. Вполне вероятно, что она обладала обламоподобным выступом, однако пока достоверно его наличие установить не удалось.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Артемьев А. Р. Города и остроги Забайкалья и Приамурья во второй половине XVII – XVIII вв. Владивосток: [б. и.], 1999. 335 с.
2. Крадин Н. П. Албазин – русская крепость на Амуре: (из истории оборонного зодчества XVII в.) // Чтения им. Г. И. Невельского: сб. Приамурского (Хабаровского) филиала Геогр. о-ва

- СССР (Хабаровск, 24–25 сентября 1987 г.). Ч. 1. Хабаровск, 1987. С. 56–62.
3. Крадин Н. П. Роспись Албазинского острога 1684 г. // Россия и АТР. 1992. № 2. С. 109–110.
4. Трухин В. И. «Росписной список» Албазинского острога 1674 года // Сборники

Президентской библиотеки. Электронный архив. 2018. Вып. 3. С. 178–188.

5. Трухин В. И. Албазинский острог: от «росписи» до «росписи» // Сборники Президентской библиотеки. Серия «Электронный архив». 2020. Вып. 5. С. 200–215.

6. Кочедамов В. И. Албазин – русская крепость на Амуре // Труды Института живописи, скульптуры и архитектуры им. И. Е. Репина». Серия «Искусствоведение». 1970. Вып. III. С. 39–43.

7. Кочедамов В. И. Первые русские города Сибири. М.: Стройиздат, 1977. 190 с.

8. Люцидарская А. А. Сибирские «огородники» XVII века // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий. 2004. Т. 10. № 2. С. 78–81.

9. Залыева Г. Ш. К вопросу о роли городников в церковном строительстве на Руси (X–XIII века) // Материалы II Всероссийской научно-богословской конференции (Екатеринбург, 12 февраля 2014 г.). Екатеринбург, 2014. С. 83–87.

10. Шейдаева С. Г. Тайны простых русских слов (забор, мост, плот) // Филологический

класс. 2017. № 4 (50). С. 30–36. <https://doi.org/10.26710/fk17-04-04>.

11. Еремин И. Е., Нацвин С. В., Трухин В. И. Трехмерное компьютерное моделирование Албазинского острога периода 1684 г. II // Информатика и системы управления. 2020. № 2 (64). С. 43–56. <https://doi.org/10.22250/isu.2020.64.43-56>.

12. Баландин С. М. Оборонная архитектура Сибири в XVII в. // Города Сибири: экономика, управление и культура городов Сибири в досоветский период. Новосибирск: Наука, 1974. С. 7–37.

13. Крадин Н. П. Русское деревянное оборонное зодчество. М.: Искусство, 1988. 192 с.

14. Озеров М. М., Бабин И. П. Обоянский острог // Обоянь и обоянцы в отечественной и зарубежной истории и культуре: сборник материалов межрегиональной научной конференции (Обоянь, 21 апреля 2012 г.). Обоянь, 2013. С. 46–68.

15. Kaufmann J. E., Kaufmann H. W. The medieval fortress: castles, forts and walled cities of the Middle Ages / illustrated by Robert M. Jurga. Cambridge, MA: Da Capo Press, 2004. 319 p.

REFERENCES

1. Artem'ev AR. Cities and fortresses of Transbaikalia and the Amur region in the second half of the 17th - 18th centuries. Vladivostok: [b. i.]; 1999. 335 p. (In Russ.).

2. Kradin NP. Albazin - Russian fortress on the Amur: (from the history of defensive architecture of the 17th century). *Chteniya im. G. I. Nevel'skogo: sb. Priamurskogo (Khabarovskogo) filiala Geogr. o-va SSSR* (Khabarovsk, 24-25 September 1987). Part 1. Khabarovsk, 1987. p. 56-62. (In Russ.).

3. Kradin NP. Painting of the Albazinsky fortress in 1684. *Rossiya i ATR*. 1992;2:109-110. (In Russ.).

4. Trukhin VI. "Painted list" of the Albazinsky fortress of 1674. *Sborniki Prezidentskoi biblioteki. Elektronnyi arkhiv*. 2018;3:178-188. (In Russ.).

5. Trukhin VI. Albazinsky fortress: from "painting" to "painting". *Sborniki Prezidentskoi biblioteki. Seriya "Elektronnyi arkhiv"*. 2020;5:200-215. (In Russ.).

6. Kochedamov VI. Albazin - Russian fortress on the Amur. *Trudy Instituta zhivopisi, skul'ptury i arkhitektury im. I. E. Repina. Seriya "Iskusstvovedenie"*. 1970;III:39-43. (In Russ.).

7. Kochedamov VI. The first Russian cities of Siberia. Moscow: Stroiizdat; 1977. 190 p. (In Russ.).

8. Lyutsidarskaya AA. Siberian "ogorodniki" of the 17th century. *Problemy arkheologii, etnografii, antropologii Sibiri i sopredel'nykh territorii*. 2004;10(2):78-81. (In Russ.).

9. Zalyaeva GSh. To the question of the role of city gorodniki in church building in Russia (X-XIII centuries). *Materialy II Vserossiiskoi nauchno-bogoslovskoi konferentsii* (Ekaterinburg, 12th February 2014). Ekaterinburg, 2014. p. 83-87. (In Russ.).

10. Sheidaeva SG. The mysteries of a common Russian words (fence, bridge, raft). *Filologicheskii klass*. 2017;4(50):30-36. (In Russ.). <https://doi.org/10.26710/fk17-04-04>.

11. Eremin IE, Natsvin SV, Trukhin VI. Three-dimensional computer modelling of Albazin fortress in 1684. II. *Informatika i sistemy upravleniya*. 2020;2(64):43-56. (In Russ.). <https://doi.org/10.22250/isu.2020.64.43-56>.

12. Balandin SM. Defense architecture of Siberia in the 17th century. *Goroda Sibiri: ekonomika, upravlenie i kul'tura gorodov Sibiri v dosovetskii period*. Novosibirsk: Nauka; 1974. p. 7-37. (In Russ.).

13. Kradin NP. Russian wooden defensive architecture. Moscow: Iskustvo; 1988. 192 p. (In Russ.).

14. Ozerov MM, Babin IP. Oboyan fortress. *Oboyan' i oboyantsy v otechestvennoi i zarubezhnoi istorii i kul'ture: sbornik materialov mezhhregional'noi nauchnoi konferentsii* (Oboyan', 21st April 2012). Oboyan', 2013. p. 46-68. (In Russ.).

15. Kaufmann JE, Kaufmann HW. The medieval fortress: castles, forts and walled cities of the Middle Ages. Cambridge, MA: Da Capo Press; 2004. 319 p.

Информация об авторах

В. И. Трухин,
наставник студенческого проекта
«Компьютерная реконструкция исторической
картины осады Албазинского острога
в 1685 г.»,
Амурский государственный университет,
675021, г. Благовещенск, ул. Игнатьевское
шоссе, 21, Россия,
e-mail: tru_vi@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6831-1858>

Б. П. Яровой,
аспирант кафедры архитектурного
проектирования,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
e-mail: boris-yarovoj@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1042-2210>

Information about the authors

Vladimir I. Trukhin,
Mentor of the Student Project
“Computer reconstruction of the historical picture
of the siege of the Albazinsky fortress in 1685”,
Amur State University,
21 Ignatievskoe Shosse St., Blagoveshchensk,
675021, Russia,
e-mail: tru_vi@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6831-1858>

Boris P. Yarovoi,
Postgraduate Student of the Department of
Architectural Design,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,
e-mail: boris-yarovoj@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1042-2210>

Вклад авторов

Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Яровой Б. П. несет ответственность за плагиат.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article. Yarovoi B. P. bears the responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Статья поступила в редакцию 30.05.2022.
Одобрена после рецензирования 16.06.2022.
Принята к публикации 20.06.2022.

Conflict of interests

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

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

The article was submitted 30.05.2022.
Approved after reviewing 16.06.2022.
Accepted for publication 20.06.2022.

**Исследование развития и строительства современных городских парков в Китае**

© Хао Цзини, Валерий Васильевич Козлов

Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Хао Цзини, malex1j@yandex.ru

Аннотация. Цель – исследование путей развития и особенностей формирования современных городских парков в Китае. Методы и инструменты работы включают в себя обзор актуальных новостных и информационных источников, материалов научных статей, посвященных принципам развития современных городских парков Китая. В процессе исследования выявлены тенденции в развитии современных городских парков под влиянием человеческого фактора. Так, в последние годы жители городов отдают предпочтение диверсифицированным городским экологическим паркам. Традиционные городские экологические парки уже не соответствуют современным представлениям о высоком качестве жизни людей, и диверсификация – единственный способ удовлетворить потребности общества. В соответствии с этой тенденцией дизайн современных городских экологических парков будет развиваться в направлении диверсификации и гуманизации. Хотя число городских парков в материковом Китае значительно выросло в период с 1980 по 2020 год, их по-прежнему мало для поддержания необходимого уровня физической активности жителей. Низкий показатель количества парков на 10 000 жителей, по сравнению со значениями американской и японской систем городских парков, может привести к проблеме доступности услуг общественного парка. Озабоченность пространственным неравенством также очевидна в масштабах провинции, классов городов и отдельных городов. В соответствии с проводимой политикой приоритетной урбанизации ожидается, что неравенство будет расти, если не будут приняты ответные меры.

Ключевые слова: городской парк, провинции Китая, городские сады, рекреационные потребности, экологические парки, мегаполис, материковый Китай

Для цитирования: Хао Цзини, Козлов В. В. Исследование развития и строительства современных городских парков в Китае // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 3. С. 442–457. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-3-442-457>.

Original article**Development of contemporary urban parks in China****Hao Jingyi, Valery V. Kozlov**

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Corresponding author: Hao Jingyi, malex1j@yandex.ru

Abstract. The development directions and formation features of contemporary urban parks in China are investigated by reviewing the current news and information sources as well as scientific publications on the principles of contemporary urban park development in China. The study reveals main trends in the development of contemporary urban parks under the influence of the human factor. Thus, in recent years, city residents have increasingly favoured diversified urban ecological parks. Traditional urban ecological parks no longer correspond to contemporary ideas about the high quality of life, making diversification the only way to meet the needs of residents. In accordance with this trend, the design of contemporary urban ecological parks will develop towards diversification and humanization. Although the number of urban parks in mainland China increased significantly between 1980 and 2020, this number is still insufficient to maintain the necessary level of the physical activity of residents. The low number of parks per 10,000 residents, as compared to the US and Japan urban park systems, can lead to the problem of accessibility of public park services. Concerns about spatial inequality are also evident across provinces,

city classes and individual cities. In accordance with the policy of prioritized urbanization, inequality is expected to grow unless preventive measures are taken.

Keywords: urban park, provinces of China, urban gardens, recreational needs, ecological parks, metropolis, mainland China

For citation: Hao Jingyi, Kozlov V. V. Development of contemporary urban parks in China. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(3):442-457. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-3-442-457>.

Введение

С выходом на первый план задач экономического развития, охраны природной среды и улучшения качества жизни, строительству и развитию городских парков уделяется все больше внимания. Развитие городских парков тесно связано с перечисленными задачами.

Из-за быстрой урбанизации постепенно растут требования людей к среде, в которой они могут работать и жить. Будучи «сердцем» городского общественного зеленого пространства, городские парки – это не только большие площади озелененных территорий, но и общественные пространства для проведения культурных, рекреационных, спортивных и развлекательных мероприятий. Парк – это не только «отражение» города, но и жизненное пространство, место обретения духовного и культурного опыта для жителей города. По мере ускорения урбанизации и обострения экологических конфликтов озеленение городов становится все более актуальным для их жителей. Будучи единственной живой инфраструктурой в городе, городские парки играют незаменимую роль в улучшении экологической обстановки, качества окружающей среды.

Методы

Методы и инструменты исследования: детальный обзор актуальных информационных источников и материалов научных статей, посвященных изучению развития современных городских парков на территории Китая [1–20].

Городской парк – это открытое общественное зеленое пространство в городе, основной функцией которого является отдых (с использованием определенных рекреационных объектов и объектов обслуживания), а также выполняющее функции экологического обслуживания, благоустройства окружающей среды, смягчения последствий стихийных бедствий, убежища и другие комплексные функции. Такие пространства являются важной частью городских земель, системы городских зеленых насаждений и городских общественных объектов, а также значимым показателем общего экологического уровня города и качества жизни жителей.

Городские парки – это важная среда, созданная для физической активности в свободное время, которая играет ключевую роль в поддержании рекомендуемого уровня физической активности в современном образе жизни. В отчете китайского исследования физической активности за 2020 год указано, что отсутствие зон физической активности является третьим по значимости фактором, который приводит к 10 % случаев гиподинамии у людей старше 20 лет, после недостатка времени (30,6 %) и отсутствия интереса (11,6 %) [8]. Доказано, что создание доступных, хорошо оборудованных и безопасных городских парков является эффективной стратегией повышения физической активности жителей. Последний систематический обзор наблюдательных исследований физической активности в парках показывает, что от 31 % до 85 % пользователей парков (медиана – 55 %) занимаются умеренной или интенсивной физической активностью.

История современных городских парков восходит к американскому движению за парки и зоны отдыха середины XIX века. Центральный парк Нью-Йорка был основан в 1873 году и является первым настоящим общественным парком в Соединенных Штатах. Помимо красивого пространства с естественными и искусственными насаждениями, он предоставляет собой три бейсбольных поля, две баскетбольные площадки, 21 игровую площадку и множество других объектов для занятий физическими упражнениями для более чем 25 миллионов посетителей каждый год [15]. В США система городских парков определяется следующим образом: система парков (включая открытые зеленые пространства вне парков) служит для защиты городских экосистем, поощрения здорового развития городов и повышения их благоустроенности [11]. Фредерик Лоу Олмстед обычно считается официальным основателем системы парков. Он предложил построить несколько парков и соединил зеленые насаждения города с парками с помощью запланированных парковых дорожек. Это позволило создать инфраструктуру и обеспечить истинную связность и целостность этой системы.

Однако до Ф. Олмстеда система парков уже имела определенный фундамент в итоге своего исторического развития. Завершение строительства парка Биркенхед в Англии в 1843 году ознаменовало рождение первого в мире городского парка. С тех пор по всей Великобритании было создано множество городских парков, которые оказали влияние на многие другие страны и города. Созданная на этой основе группа городских парков оформилась в парковую систему и сыграла важную роль в формировании городского пространства.

В середине XIX века Великобритания возглавила работу по организации городских парков, которая оказала влияние на многие страны. Городские парки возникают по всему миру и постепенно образуют парковые комплексы. Эти комплексы можно рассматривать как прототипы парковых систем, которые эффективно решили многие городские проблемы и повлияли на развитие городских пространств.

В Соединенных Штатах насчитывается более 108 000 общественных парковых объектов и 65 000 крытых объектов, связанных с более чем 9 000 местных отделов парков и отдыха и организаций [6]. Городские парки были признаны службой здравоохранения и частью системы здравоохранения Фондом общественных земель, крупнейшей национальной некоммерческой организацией Америки, работающей над созданием и улучшением окрестных парков. Центр передового опыта городских парков в Тресте общественных земель ежегодно публикует отчеты о городских парках с 2010 года. Последний отчет о городских парках за 2020 год охватывает 100 самых густонаселенных городов, предоставляя подробные данные, которые включают парковые единицы, парковые зоны, доступность, удобства и расходы, что проясняет особенности городских парков и систем отдыха [19]. Эти данные и другая информация дополнительно интегрируются и используются для заполнения рейтинговой системы *ParkScore*, чтобы помочь улучшить парковые системы и определить приоритетные потребности жителей в парках. Кроме того, результаты *ParkScore* могут быть применены в других исследованиях общественного здравоохранения [10] и проектах планирования, таких как программа детских площадок Нью-Йорка. Надежные данные, отражающие состояние городских парков и рекреационной системы, играют важную роль в постоянном росте и развитии городских парков [5]. Эти данные лежат в основе продуманных генеральных планов парков и рекреации, например, Плана политики парков и рекреации города Форт-

Коллинз, Генерального плана парков Северного Манхэттена на период до 2030 года и т.д.

Городские парки составляют небольшую часть городских зеленых насаждений Китая. В китайских городах часто много зеленых насаждений, но мало парковых зон. Например, в конце 2014 года в Шанхае было 125 741 га зеленых насаждений, но только 2301 га парковых зон [13]. По сравнению с другими городскими зелеными насаждениями (например, охраняемыми зелеными насаждениями и зелеными насаждениями на проезжей части), городские парки могут предоставлять универсальные возможности и услуги для удовлетворения общественных потребностей и оказывать прямое и значительное влияние на здоровье и благополучие людей [19]. Многие исследования в Китае сосредоточены на пространственных и временных тенденциях развития общественных парков в черте городов, таких как Пекин, Шанхай, Сиань и Шэньчжэнь. Другие включают маломасштабный анализ доступности парков, экономических выгод и их оценку. Тем не менее было проведено несколько исследований, посвященных долгосрочной тенденции развития китайских городских парков в больших масштабах.

Основная цель этого исследования – проанализировать пространственно-временную тенденцию развития городских парков в материковой части Китая (далее – Китай) за последние три десятилетия, когда ее экономика и общество быстро и массово менялись. В частности, исследование преследует две цели:

1. Выявить временную тенденцию развития городских парков на национальном уровне.
2. Охарактеризовать пространственные различия в масштабе провинций и городов.

Кроме того, была предпринята попытка выяснить важные вопросы, касающиеся физической активности и планирования парков. Результаты этого исследования будут полезны для понимания тенденций развития городских парков в Китае, которые влияют на планирование парков и способствуют поддержанию физической активности их посетителей. Также в работе содержится ценная информация для соответствующих исследований в области общественного здравоохранения и устойчивого развития. Опыт Китая поможет многим другим развитым и развивающимся странам, которые ищут решения для улучшения городских парков и общественного здравоохранения.

Возникновение, развитие и рост числа городских парков в Китае можно проследить на примере развития Шанхая, современного и процветающего города Китая, где до 1840 года сады, как и в других китайских городах,

представляли собой храмовые и частные сады классического вида. Китайские городские парки восходят к «чартерным паркам», построенным британскими и французскими колонистами в прибрежных городах Китая в середине XIX века [7]. Их основные стили – английский, природный или французский традиционный стиль с большими газонами, лесами и цветниками. Функции, планировка и стиль этих парков отражают особенности европейских стран и оказали определенное влияние на развитие и строительство ранних китайских парков. На протяжении более ста лет китайские парки развивали свой собственный стиль, начиная с подражания европейским парковым стилям и заканчивая разработкой особенностей, подчеркивающих природные ландшафты, расположение растений и садовую архитектуру.

С момента создания городов-садов по всей стране в 1992 году, городские парки Китая пережили этап бурного развития в связи с быстрым ростом городской застройки. С 1997 по 2002 год государство инвестировало в озеленение городов более 10 миллиардов юаней в год, что составило около 10 процентов от общего объема средств, выделяемых на городское строительство. Средний показатель

охвата озеленением городов увеличился на один процентный пункт [17].

Планировка современных городских садов и парков подразумевает большую рекреационную нагрузку. Элементы осевой планировки, свойственные императорским и храмовым паркам, отмечаются только в тех случаях, когда объекты идейно связаны с историческими периодами, которые они демонстрируют. В остальных случаях планировка свободная, территории имеют, как правило, несколько равноценных входов, подчиненных общей градостроительной ситуации.

Например, рассмотрим «Парк века» (рис. 1) – крупнейший городской экологический парк в Шанхае (более 140 га), созданный как символ перехода от XX к XXI в. Этот современный объект сочетает в себе как традиционные элементы восточного и западного садоводства, так и новые приемы обустройства зеленых территорий.

Главная идея: продемонстрировать гармонию природы и современного человека. Здесь преобладают водные, луговые и лесные ландшафты (все искусственные), есть зоны аттракционов, предусмотрено катание на велосипедах и лодках, ловля рыбы.



Рис. 1. «Парк века», Шанхай
Fig. 1. Century Park, Shanghai

Новый городской парк Шанхая построен в начале XXI в. между крупными транспортными магистралями в сложившейся части города.

На рис. 2 видно, что он также сочетает в себе приемы китайского и европейского садового дизайна. Разветвленная сеть дорог равномерно распределена вокруг центрального водоема. Форма парка треугольная, ограничена

магистралями, с каждой из сторон расположен вход. Большие площади покрыты газонами, входные группы обильно украшены цветниками.

К последнему году Девятого пятилетнего плана площадь зеленых насаждений на душу населения в городах страны достигла 6,8 квадратных метров, а коэффициент озеленения

составил 28,1 процента.

Общее количество парков в стране выросло с почти 1000 в 1980-х годах до более чем

4000 в 2002 году. Несмотря на увеличение количества, качество городских парков Китая также значительно повысилось.



Рис. 2. Новый городской парк, Шанхай
Fig. 2. New City Park, Shanghai

В парках улучшено озеленение, местная экологическая обстановка, добавлено большое количество рекреационных и сервисных объектов, которые существенно обогатили местность, а также имеется множество исторических и культурных реликвий. Благодаря строительству парков было сохранено множество старых деревьев.

Став для горожан важными местами для изучения и оценки своего природного и культурного наследия, городские парки, а также исторические сады в центрах городов, вдоль улиц и на берегах рек и все более разнообразные парки были разбиты в новых жилых поселках и даже на пустырях, бесплодных землях и мусорных свалках.

Городские парки играют незаменимую роль в удовлетворении растущих рекреационных потребностей населения и занимают все более важное место в городском развитии.

Согласно китайским статистическим стандартам зеленых насаждений общего пользования, их ширина должна составлять не менее 8 м, а площадь не менее 1000 кв. м. Зеленые насаждения пространственно ограничены, в их зоне располагаются определенные культурные и жилые объекты, открытые для населения, с разнообразными функциями, такими как улучшение экологической обстановки, благоустройство городского пейзажа и жилое использование.

В настоящее время основным показателем для парков в Китае (Кодекс проектирования парков) является следующий: площадь посадки садовых растений в вышеуказанных различных парковых зеленых зонах должна составлять $> 65\%$ (т.е. коэффициент

озеленения), при этом в комплексных парках культурного отдыха, комплексных зоопарках, различных специальных парках этот показатель должен составлять $> 70\%$, а в комплексных ботанических садах и живописных местах $> 85\%$.

Городские парки являются важной частью городской экосистемы и городского ландшафта, удовлетворяя потребности городских жителей в досуге, предоставляя места для отдыха, посещения, занятий спортом, общения и проведения различных коллективных культурных мероприятий, и являются наиболее часто используемыми открытыми пространствами для городских жителей.

Согласно китайскому стандарту классификации городских зеленых насаждений *CJJT85-2017*, городские парки делятся на четыре категории: комплексные парки, общественные парки, специальные парки и прогулочные сады, а также на ряд подкатегорий, описанных ниже [3].

G1. Городской парк: открытое для населения зеленое пространство, основной функцией которого является отдых, а также выполняющее экологическую, ландшафтную, культурно-просветительскую и функцию убежища в чрезвычайных ситуациях, с определенными объектами рекреации и обслуживания.

G11. Комплексный парк: зеленое пространство с богатым содержанием, подходящее для всех видов активного отдыха, с полным комплексом услуг по организации отдыха. Площадь должна быть больше 10 м^2 .

G12. Общественный парк: зеленое пространство с основными рекреационными и сервисными объектами на отдельном участке, в

основном для жителей определенного района, чтобы они могли проводить свой ежедневный досуг недалеко от дома. Площадь должна быть больше 1 м².

G13. Специальные парки: зеленые пространства со специфическим содержанием или формой, с соответствующими объектами рекреации и обслуживания.

G131. Зоопарк: зеленое пространство с хорошим оснащением и системой интерпретационных указателей для охраны диких животных в неволе, для исследований по разведению и селекции животных, а также для научной, обзорной и рекреационной деятельности.

G132. Ботанический сад: зеленое пространство для научных исследований растений, их одомашнивания и сохранения, а также для декоративных, рекреационных и научно-популярных мероприятий, с хорошим оснащением и системой интерпретации и указателей.

G133. Исторические сады: сады, воплощающие репрезентативное искусство садоводства определенного исторического периода и требующие особой охраны.

G134. Парк наследия: зеленое пространство, образованное в основном важным объектом и его фоновым окружением, имеющее образцовое значение с точки зрения охраны и демонстрации объекта, а также выполняющее культурные и рекреационные функции.

G135. Игровой парк: отдельные, большие игровые сооружения, экологически безопасное зеленое пространство. Доля зеленого пространства должна быть больше или равна 65 %.

G139. Другие специальные парки: в дополнение к описанию вышеуказанных специальных парков, должны быть зеленые зоны со специфическим тематическим содержанием. К этой подкатегории относятся детские и спортивно-оздоровительные парки, парки на набережной, монументальные и парки скульптур, живописные парки, городские водно-болотные парки и лесопарки, расположенные на территории городских строительных площадок, и т.д. Доля зеленых насаждений должна быть больше или равна 65 %.

G14. Парк: в дополнение к характеристикам вышеупомянутых парков, независимая земля небольшой площади или разнообразных форм, с удобным входом для жителей и определенными рекреационными функциями. Ширина полосы парка должна быть больше 12 м; доля озеленения должна быть больше или равна 65 % [9].

Далее рассмотрим основные функции городских парков. Городские парки влияют не

только на качество жизни горожан, но и на экологическую обстановку, так, они служат украшением для городов, способствуют регулированию малой городской среды, улучшению качества городского воздуха, поддержанию экологического баланса городов, предотвращению и смягчению последствий стихийных бедствий. Качественно спроектированные парки, с их неповторимым обликом и разнообразными функциями, часто могут стать символом города и признаком его цивилизованности и процветания. Как главное общественное открытое пространство города, парк является не только продолжением традиции отдыха, но и отражением городской культуры, которая представляет собой политический, экономический, культурный, стилистический и духовный темперамент города, а также отражает менталитет, стремления и вкус его жителей. Поэтому городские парки – это не только место для посещения и отдыха, но и пространство для распространения культуры; это не только место для просвещения населения в области духовного развития и популяризации научных знаний, но и важный ресурс для правительства, помогающий достижению социальной гармонии и культивированию городской культуры. Ф. Олмстед, отец американского ландшафтного дизайна, однажды сказал, что парк – это произведение искусства, и с течением лет парки будут все в большей степени представлять собой культурное наследие. Парк – это кусочек истории, он побуждает людей заходить в сад и рассматривать объекты, хранящие в себе образы прошлого, хорошие воспоминания о нем, объекты, представляющие ценность, – арочный мост, скульптуры, старые деревья и т.д. Поэтому необходимо тщательно проектировать и обустроить городской парк, чтобы он был естественным и содержал гуманистическое наследие. Для этого более широко рассмотрим функции городских парков:

1. Социально-культурные. Функции досуга и отдыха, развития духовной культуры и научно-исследовательская и образовательная база. В международном масштабе городские парки и зеленые зоны признаны одним из наиболее важных общественных благ, и все люди имеют право посещать парки для отдыха и занятий. Городские парки и зеленые зоны в развитых странах обычно предоставляются населению в качестве базового блага и открыты для посещения бесплатно, чтобы гарантировать право на досуг и отдых для всех городских жителей. Каждый гражданин имеет возможность наслаждаться видом зеленых насаждений и чистого неба.

2. Экономические. С ростом городского туризма многие известные крупномасштабные комплексные парки заняли лидирующие позиции, став важными туристическими достопримечательностями городов со своими уникальными особенностями, а городские парки также функционируют как центры городского туризма или достопримечательности, способствуя развитию городского туризма.

3. Экологические. Зеленые насаждения на парковых территориях являются важнейшими производителями кислорода. В городских экосистемах это особенно актуально, т.к. зеленые насаждения способны снизить концентрацию углекислого газа и увеличить долю кислорода в воздухе городов с удивительно высокой плотностью населения. Наряду с поглощением углекислого газа, растения поглощают или адсорбируют ряд других вредных газов, которые они преобразуют в процессе собственного метаболизма. Они также фильтруют воздух, чтобы снизить концентрацию взвешенной пыли в нем: когда воздух проходит через озелененное пространство, густые ветви и листья зеленых растений, те поглощают большое количество пыли, делая воздух немного чище. Растения также регулируют процесс циркуляции воды и повышают относительную влажность воздуха в сухое время года. Парки украшают городской пейзаж и имеют другие преимущества. Уникальная планировка парковых зеленых зон выглядит привлекательно, позволяет подчеркнуть индивидуальность города и создать интересные небольшие жилые пространства, которые будут долго привлекать как постоянных жителей, так и туристов.

4. Функции в городском строительстве. Будучи неотъемлемой частью города, городские парки и зеленые насаждения в нем незаменимы и являются важнейшими объектами для жизни, работы и деятельности человека. Парки являются частью общественной инфраструктуры города, и, помимо своей туристической ценности, культурно-просветительской и досуговой функций, они также отражают изменения города и имеют важную историческую ценность, и город часто становится более культурно привлекательным благодаря существованию парков. Они занимают незаменимое место в благоустройстве городского ландшафта.

Результаты и их обсуждение

К основным тенденциям развития городских экологических парков относятся следующие. Строительство экологических парков не только улучшает качество городской среды, делает город ярче, а воздух – свежее, но и является одной из важнейших задач по улучшению экологической обстановки в городе. С

течением времени промышленное развитие города становится все более и более процветающим, и многие заводы выбрасывают в атмосферу большое количество вредных газов, что серьезно снижает качество воздуха в городе. Растения в городских экологических парках могут поглощать вредные газы, очищать воздух, а также регулировать температуру в городе, делая его более благоприятной средой для жизни людей. Поэтому строительство городских экологических парков представляет собой создание объектов не только материальной, но и духовной культуры города. Обширные зеленые площади и своеобразная архитектура городских экологических парков с их красивыми пейзажами и хорошими экологическими условиями сделают жизнь людей более здоровой и приятной, а также будут способствовать развитию социальной культуры, делая город более привлекательным местом для большего числа людей и тем самым способствуя его экономическому процветанию. Поэтому качество строительства городских экопарков очень тесно связано с улучшением городской среды. Город и природа могут быть интегрированы друг с другом, что сейчас крайне актуально для городов. Строительство городских экологических парков отражает мировоззрение жителей города, улучшает и повышает качество жизни людей, а также удовлетворяет стремление людей к красоте.

Городские экологические парки – это места отдыха и развлечений для людей, и при их строительстве и содержании следует учитывать концепцию «ориентированного на людей» дизайна. Пространства и объекты в городских экологических парках должны быть спроектированы таким образом, чтобы удовлетворять потребности различных групп населения. Вопрос о том, как создать привлекательный городской экологический парк и сделать его популярным местом отдыха, похоже, стал самым важным для дизайнеров.

Мы видим тенденцию развития современных городских экологических парков под влиянием истории и культуры. С развитием общества и ростом зрелости сознания людей требования к городским экологическим паркам уже не ограничиваются наличием цветов и иных растений, а включают более глубокий культурный подтекст. Однако строительство и планирование городских экологических парков организовано так, что их дизайн кажется похожим, а местная история и культура не находят в нем должного отражения. Между тем, только при соблюдении последнего условия мы сможем создать городские экологические парки, которые будут наиболее подходящими и

приятными для посетителей, и, скорее всего, будут способствовать развитию современных городских экологических парков.

Наблюдается тенденция развития современных городских парков под влиянием человеческого фактора. В последние годы население отдает предпочтение диверсифицированным городским экологическим паркам, и требования людей к паркам растут. Традиционные городские экологические парки уже не соответствуют современным представлениям о высоком качестве жизни людей, и диверсификация – единственный способ удовлетворить потребности общества. В то же время мы должны учитывать потребности общества и сделать дизайн гуманным. В соответствии с этой тенденцией, дизайн современных городских экологических парков будет развиваться в направлении диверсификации и гуманизации.

Также наблюдается тенденция развития современных городских экологических парков под влиянием природной среды. Городские экологические парки – это места для посещения широкого круга людей, и восприятие городских экологических парков посетителями зависит от их личных качеств. В прошлом городские экологические парки обычно делали акцент только на разнообразии пейзажей, что приводило к зрительной усталости людей от наблюдаемых видов. Поэтому дизайн будущих городских экологических парков должен быть сосредоточен на трехмерном ландшафтном дизайне и подчеркивать интеграцию и взаимопроникновение городских экологических парков и окружающих зданий, чтобы люди могли наслаждаться их красотой. Развитие современных городских экологических парков в большей степени ориентировано на улучшение окружающей среды и общественную пользу. Эти цели отражают то, как современные городские экологические парки удовлетворяют потребности города и его жителей, поэтому необходимо, чтобы число современных городских экологических парков увеличивалось.

В качестве объекта нами были исследованы городские парки в трех масштабах: национальном, провинциальном и городском. До конца 2020 года в Китае насчитывалась 31 административная единица провинциального уровня, в том числе 27 провинций и четыре муниципалитета с прямым управлением. Анализ в масштабе провинций учитывал только 27 провинций (табл. 1) [4]. Во всех административных категориях насчитывалось 653 города. В качестве объектов исследования были приняты 650 городов, исключая три города без достоверных данных, но включая

вышеупомянутые четыре муниципалитета с прямым контролем, 15 городов вице-провинций, 272 города уровня префектуры и 359 городов уровня округа. 650 городов были сгруппированы в пять классов (табл. 2) с использованием последней классификации городов на основе численности населения, опубликованной Государственным советом Китая.

Все данные о городских парках за период с 1981 по 2020 год были получены из Китайского статистического ежегодника городского строительства за 2020 год [13]. Этот Ежегодник был составлен на основе статистических данных, предоставленных городскими строительными органами административных единиц провинциального уровня. Данные о городских парках, использованные в Ежегоднике, были представлены местными агентствами парков и отдыха, ответственными за планирование, строительство и управление городскими парками. Например, данные о городских парках Шанхая были предоставлены Шанхайской муниципальной администрацией по лесоразведению и благоустройству города, и их можно просмотреть онлайн [1].

Концепция городского парка в этой статье соответствует определению в Ежегоднике. Он относится к «местам, открытым для публики с целью туризма, оценки, отдыха и проведения научных, культурных и развлекательных мероприятий». В частности, городской парк включает в себя общие парки, тематические парки и поясные парки.

Общие парки находятся в большинстве городских систем, чтобы гарантировать, что потребности и интересы всех пользователей в области отдыха учитываются. Это такой тип парка, который обычно занимает не менее 10 га, предоставляет как можно больше услуг по рекреации и привлекает пользователей всех возрастов.

Тематические парки, также называемые парками специального назначения, создаются для удовлетворения потребностей определенной группы пользователей, например, детские парки, мемориальные парки, ботанические сады и т.д.

Они имеют различные размеры в зависимости от спроса и типа планировки. Поясные парки – это линейные парки, или экологические коридоры, которые могут располагаться вдоль улиц, сохранившихся городских стен (например, городской стены Сианя), набережных или других доступных общественных пространств.

На основе обзора литературы [8] для описания городских парков были выбраны пять показателей: их количество, площадь (общая

площадь городских парков), число парков на 10 000 жителей (отношение количества городских парков к городскому населению на 10 000 человек), площадь парков на душу населения (отношение площади парков к городскому населению) и парковых угодий в процентах от

городской площади (процент парковых угодий, отношение площади парков к городской площади). Количество и площадь парков – это абсолютные показатели, которые описывают основную статистическую информацию о городских парках.

Таблица 1. Двадцать семь провинций в Китае

Table 1. Twenty-seven provinces in China

Провинция	Сокращение	Количество городов	Население (на 10 000 человек)
Хэбэй	HE	31	1628,70
Шаньси	SX	22	1084,45
Внутренняя Монголия	IM	20	873,46
Ляонин	LN	31	2274,8
Цзилинь	JL	28	1154,98
Хэйлунцзян	HL	29	1378,3
Цзянсу	JS	36	2978,17
Чжэцзян	ZJ	31	2028,05
Януи	АН	22	1432,38
Фуцзянь	FJ	22	1134,15
Цзянси	JX	21	987,8
Шаньдун	SD	45	3038,71
Хэнань	HN	38	2400,63
Хубэй	HB	36	1879,96
Хунань	HU	29	1457,9
Гуандун	GD	42	5109,36
Гуанси	GX	21	991,08
Хайнань	HA	8	264,14
Си Эстунхуан	SC	32	1971,35
Гуйчжоу	GZ	13	632,52
Эксуннан	YN	20	828,35
Тибет	TI	3	67,15
Шэньси	SN	13	881,45
Ганьсу	GS	16	572,43
Нидерландец	QH	5	165,58
Нинся	NX	7	273,45
Синьцзян	XJ	25	724,09

Таблица 2. Пять классов городов, основанных на численности населения

Table 2. Five classes of cities based on population

Городской класс	Количество городов	Население (на 10 000 человек)	Стандарт
Мега-Сити I (MC I)	7	9131,28	> 10 млн жителей
Мега-Сити II (MC II)	10	4525,72	От 5 до 10 млн жителей
Большой город (LC)	211	19361,48	От 1 до 5 млн жителей
Город среднего размера (MSC)	273	9030,32	От 0,5 до 1 млн жителей
Малый город (SSC)	149	2320,41	< 0,5 миллиона жителей
Всего	650	44369,21	–

Последние три показателя соотношения могут быть использованы для проведения внутренних и международных сравнений. Сведения о количестве парков, парковой зоне, городском населении и городских районах были получены из Ежегодника. Эти данные были введены для расчета количества парков на

10 000 жителей, площади парков на душу населения и процентного соотношения парковых зон и площади города. Затем все пять показателей были проанализированы с использованием программных инструментов для описания временной тенденции развития городских парков на национальном уровне и

пространственных различий в масштабе городского класса.

Прежде всего, были описаны и сопоставлены общие изменения на уровне городского класса. Во-вторых, был проанализирован каждый класс городов, и анализ мегаполисов I и II был проведен отдельно, но крупные, средние и малые города были объединены из-за количества городов в них. Наконец, были представлены первые десять городов по пяти показателям парков. В совокупности мегаполисы I и II имеют 4 179 парков и 112 973 га парковой площади, что составляет примерно 32 % и 31 % от общего количества и площади парков. В категории крупных городов значения данных показателей – 41 % и 42 %, а объединенная категория средних и малых городов охватила

оставшиеся 27 % по обоим показателям [11]. Из трех других показателей соотношения мегаполис II имел более высокие значения, чем в среднем по стране, а количество парков на 10 000 жителей и процент парков были самыми высокими во всех пяти классах городов. Напротив, все показатели в классе крупных городов были ниже, чем в среднем по стране. В мегаполисе I показатели были ниже, чем в среднем по стране; количество парков на 10 000 жителей было самым низким. Классы средних и малых городов имели показатели выше, чем в среднем по стране, а площадь парков на душу населения в малом городе была самой высокой во всех пяти классах (табл. 3).

На рис. 3–7 отображены индексы оценки провинций Китая по показателям парков.

Таблица 3. Статистика городских парков для пяти городских классов в 2020 году

Table 3. City park statistics for five city classes in 2020

Городской класс	Количество парков	Парковая площадь, га	Число парков на 10 000 жителей	Парковая зона на душу населения, м ²	Парковая зона, %
MC I	2825	76657	0,22	8,14	2,34
MC II	2254	43749	0,48	8,58	2,87
LC	6102	165258	0,28	8,09	2,05
MSC	3207	77458	0,3	8,38	1,94
SSC	1169	24951	0,44	9,51	1,68
Всего	15557	388073	0,344	8,54	2,176

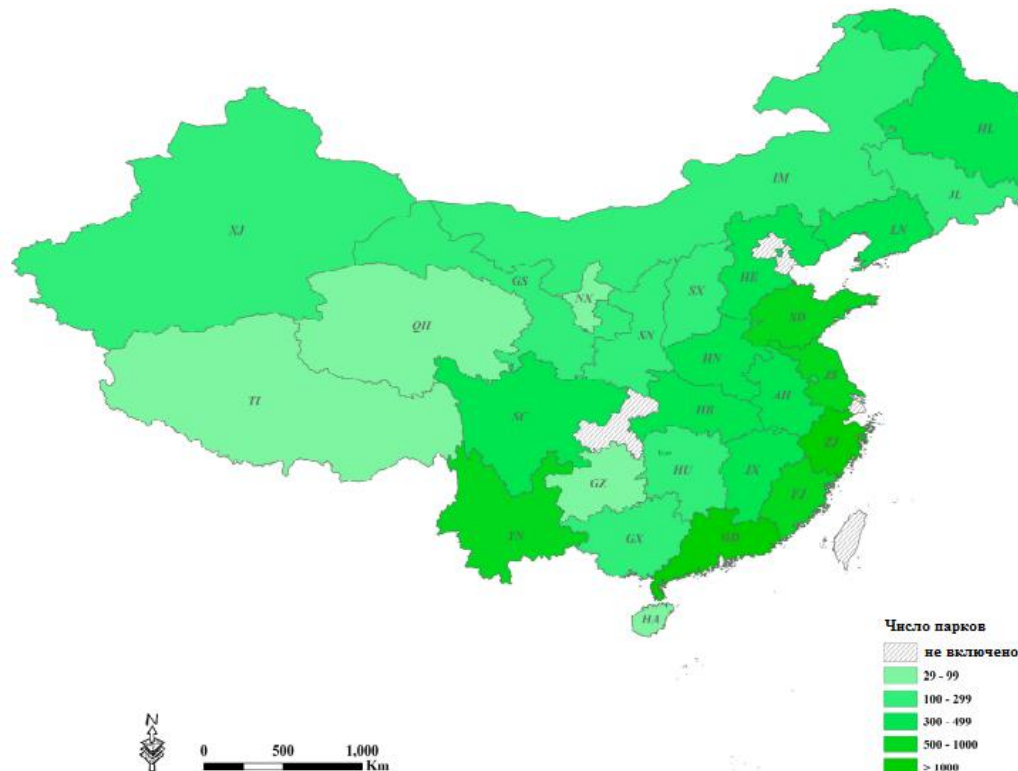


Рис. 3. Количество парков в провинциях Китая

Fig. 3. Number of parks in China's provinces

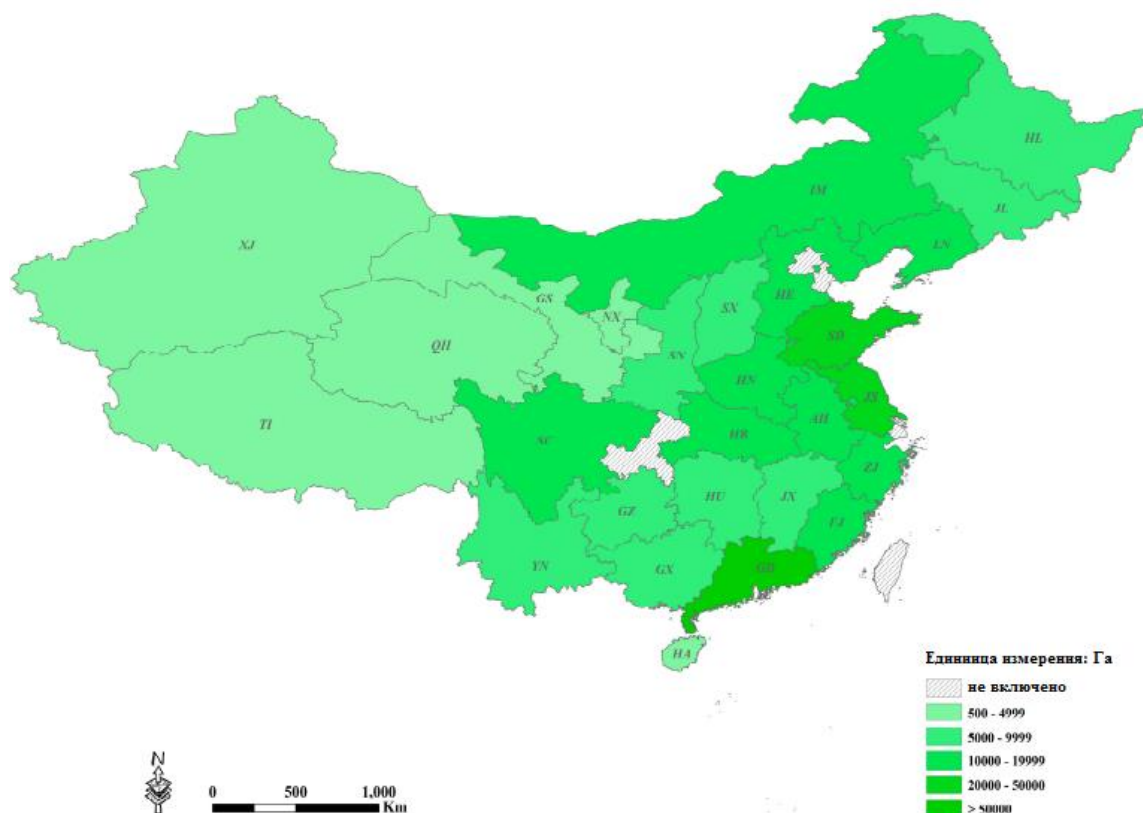


Рис. 4. Площадь парковых зон в провинциях Китая
Fig. 4. Park areas in the provinces of China

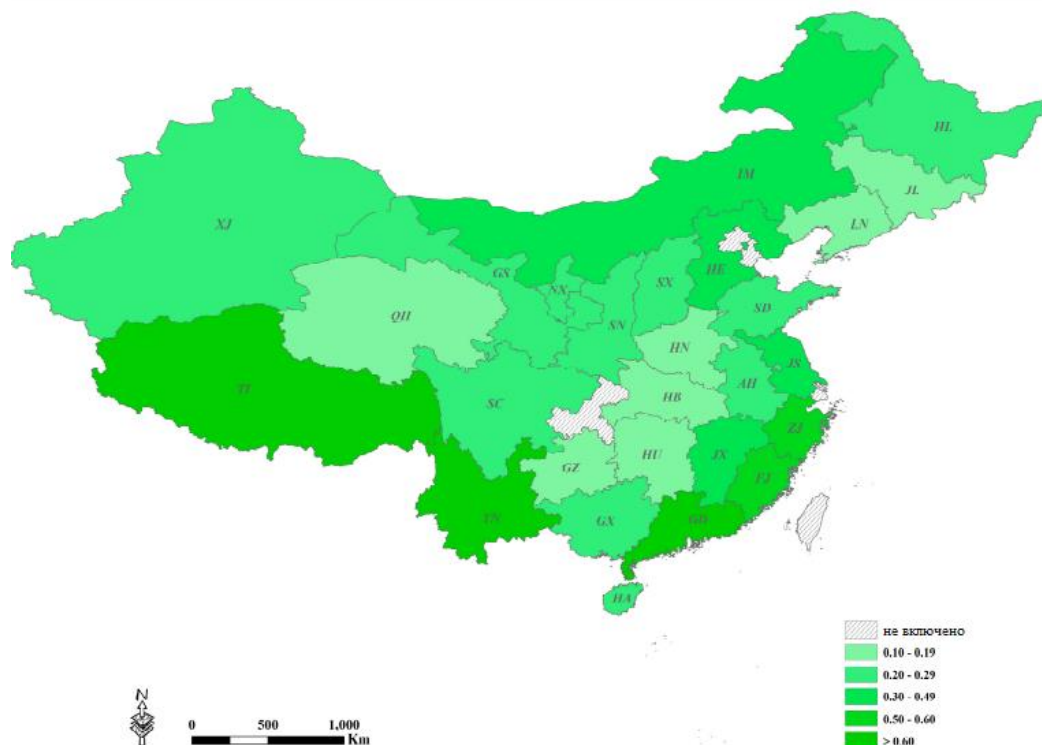


Рис. 5. Число парков на 10 000 жителей в провинциях Китая
Fig. 5. Number of parks per 10,000 inhabitants in Chinese provinces

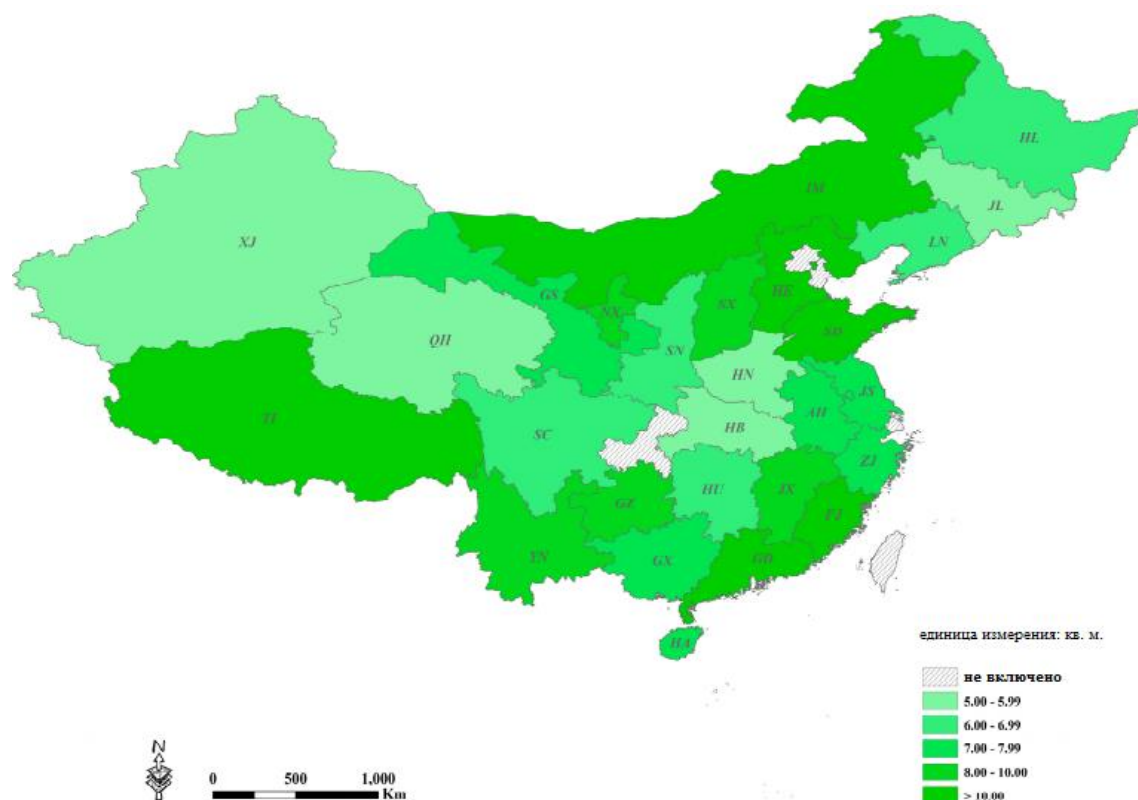


Рис. 6. Площадь парков на душу населения в провинциях Китая
Fig. 6. Park area per capita in Chinese provinces

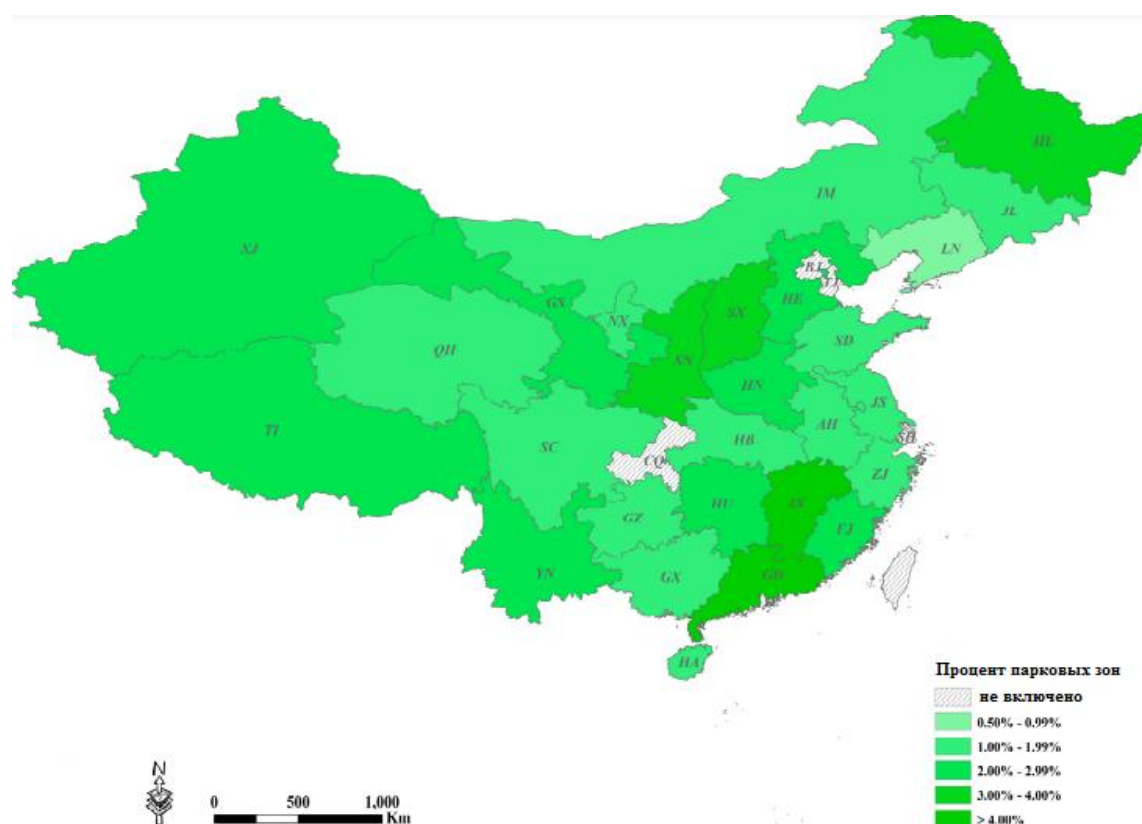


Рис. 7. Парковые зоны в процентах от городской площади в провинциях Китая
Fig. 7. Park areas as a percentage of the city area in Chinese provinces

К классу мегаполисов I относятся семь городов, включая четыре муниципалитета с прямым управлением (Пекин, Тяньцзинь, Шанхай и Чунцин), а также города Ухань (НВ), Гуанчжоу (GD) и Шэньчжэнь (GD). В этом классе Шэньчжэнь имел самые высокие показатели, за исключением парковой зоны (в Пекине была самая большая парковая зона). В Шанхае количество парков на 10 000 жителей, площадь парков на душу населения и процент парковых зон были наименьшими. По сравнению со средним показателем по стране по этим трем параметрам у Шэньчжэня значения были выше, а у Тяньцзиня и Шанхая – ниже.

Десять городов включены в класс мегаполисов II: Шэньян (LN), Харбин (HL), Нанкин (JS), Ханчжоу (ZJ), Чжэнчжоу (HN), Шаньтоу (GD), Фошань (GD), Дунгуань (GD), Чэнду (SC) и Сиань (SN). Дунгуань имел наибольшие значения по всем пяти показателям. В Шаньтоу были самые низкие значения по количеству парков, площади парковой зоны и числу парков на 10 000 жителей, а в Чжэнчжоу и Шэньяне были самые низкие значения по площади парков на душу населения и проценту парковых зон соответственно. В городах Дунгуань и Фошань показатели были выше, чем в среднем по стране, в то время как в Шэньяне и Шаньтоу они ниже.

Крупные города в объединенном классе крупных, средних и малых городов превосходили средние и малые города по количеству парков и площади парковой зоны, но у малых городов были лучшие показатели соотношения. Значительная асимметрия наблюдается по всем пяти показателям в трех классах городов.

Значительная часть городов сгруппирована в нижней части рейтинга, и многие из них явно продемонстрировали серьезную нехватку городских парков. В общей сложности насчитывалось 379 городов с менее чем 10 парками, 156 городов с менее чем 100 га парковой зоны, 80 городов с менее чем 0,1 парков на 10 000 жителей, 101 город с менее чем 3 м² парков на душу населения и 176 городов с менее чем 1 % парковой зоны.

В десятку лучших городов по количеству парков вошли четыре из класса мегаполисов I, три из класса мегаполисов II и три из классов крупных городов. Число парков варьировалось от 164 до 1210. За исключением небольших городов, остальные четыре класса входят в первую десятку городов по площади парковой зоны (четыре из класса мегаполисов I, два из класса мегаполисов II, три из класса больших городов и один из класса средних городов). Она составляла от 3 313 до 28 798 га. Мегаполисы I и II классов с трудом вошли в первую

десятку городов по показателям соотношения, за исключением Дунгуаня по отношению числа парков на 10 000 жителей. Остальные девять городов, попавших в первую десятку по числу парков на 10 000 жителей, представлены одним крупным городом, двумя городами среднего размера и шестью малыми городами, диапазон количества парков в них – от 1,45 до 3,60 парков на 10 000 жителей [16]. Результаты были аналогичны по параметрам площади парковой зоны на душу населения и процента парковых зон от городской площади. Семь из десяти лучших городов как по площади парков на душу населения, так и по проценту парковых зон являются малыми городами, в то время как один крупный и два средних города завершили список. В них парковая площадь на душу населения составляла от 26,13 до 66,99 га, а доли парковых зон – от 11,16 % до 23,22 % соответственно.

Городские парки являются ценными ресурсами для физической активности в свободное время. Количество городских парков в материковом Китае значительно увеличилось в период с 1980 по 2020 год. Поворотный момент произошел примерно в 2000 году, особенно в отношении показателей соотношения. Однако их число все еще невелико по сравнению с устоявшимися американскими и японскими системами городских парков.

Следует отметить несколько ограничений этого исследования. Во-первых, временная тенденция городских парков была выявлена только на национальном уровне. Из-за ограниченности источника данных тенденция в масштабе провинции не была установлена. Однако тенденция в Гуандуне должна отличаться от тенденции в Чжэцзяне, даже несмотря на то, что в 2020 году оба города располагали большим количеством городских парков. Во-вторых, внутриобластные пространственные различия не анализировались.

В провинции, мало обеспеченной парками, может быть пара городов с высоким числом парков, и наоборот. В-третьих, некоторые местные агентства парков и отдыха рассматривали несколько храмов и исторических мест в качестве городских парков, например, монастырь Ба Сянь Ань (Храм Восьми Бессмертных) и храм Да Синшань в городе Сиань. Наконец, помимо пяти выбранных показателей парков, есть несколько ключевых показателей, которые оказывают существенное влияние на качество городских парков с точки зренияощрения физической активности в свободное время, которые не включены в данное исследование, например, процент городского населения, имеющего пешеходный доступ к парку,

расходы на благоустройство парка на одного жителя и число парковых игровых площадок на 10 000 жителей.

Дальнейшие исследования рекомендуется проводить по следующим направлениям: доступность и справедливость доступа к городским паркам, аудит парков на основе дистанционного зондирования и краудсорсинга, а также уровень физической активности в них.

Заключение

Число городских парков в материковом Китае значительно увеличилось в период с 1980 по 2020 год, но их по-прежнему мало для физической активности жителей. Низкий показатель количества парков на 10 000 жителей, по сравнению со значениями американской и японской систем городских парков, может привести к проблеме доступности услуг общественного парка. Озабоченность пространственным неравенством также очевидна в масштабах провинции, класса городов и отдельных городов. С одной стороны, в ведущей провинции Гуандун и ее мегаполисах Шэньчжэнь и Дунгуань показатели парков сопоставимы с Соединенными Штатами и Японией. В Гуандуне построено более 12 000 км зеленых дорожек. С другой стороны, есть по-прежнему пять городов без городских парков и много городов с крайне низкими показателями парков. В соответствии с проводимой политикой приоритетной урбанизации ожидается, что неравенство будет расти, если не будут приняты ответные меры.

Хотя планирование городской системы зеленых насаждений оказало положительное влияние на рост числа городских парков, необходимо специальное планирование городских

парков, особенно для решения проблемы дефицита парков в мегаполисах и густонаселенных крупных городах, таких как Шанхай, Тяньцзинь и Шаньтоу. Генеральные планы парков, зон отдыха и открытых пространств уже давно доказали свою эффективность в Соединенных Штатах. Немногие китайские города осознали важность планирования городских парков. Только Уси и Шэньчжэнь опубликовали свои генеральные планы городского парка, а Гуанчжоу подал заявку. Между тем, необходимо срочно принимать законы или руководящие принципы в отношении городских парков, которые могут служить подходящей основой для планирования парковой системы или определения минимального стандарта для городских парков.

Городские парки как ключевые общественные пространства и жизненно важная зеленая инфраструктура имеют стратегическое значение для достижения устойчивого развития города и благополучия городских жителей. Однако исследования городских парков Китая не показали значительных результатов. Отчасти это связано с тем, что пространственные и иные данные городских парков, такие как демографические сетки, дорожные сети и здоровье населения, недоступны или отсутствуют в открытом доступе. Кроме того, исследованиям необходимо больше финансовой поддержки, так как Национальный фонд естественных наук Китая и Национальное управление планирования философии и социальных наук за последние 40 лет одобрили не более 22 заявок на исследовательские проекты, посвященные городским паркам.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Li F. Research on the construction of urban ecological parks // Anhui Agricultural University. 2010. No. 4. p. 43-49.
2. Deng I. Development of urban ecological parks and discussion of their concepts // Chinese Garden. 2003. No.12. p. 51-53.
3. Shi C. Analysis of ecological sensitivity of urban ecological parks // Zhongnan University of Forest Science and Technology. 2011. No. 2. p. 225-235.
4. Chen Yu. Trend of development of modern ecological urban parks // Urban architecture. 2014. No. 2. p. 6-7.
5. Wei C. C., Chen X. Yu. Research on the development of urban ecological parks and their functions // Modern gardening. 2013. No. 18. p. 149-150.
6. Wen H., Zhang Yu., Zhang L. Assessment of the impact of urban landscapes on housing prices in Han Zhou, China // Urban Current. Urban green. 2015. No. 14. p. 1017-1026.
7. Bowler D. E., Buyung-Ali L., Knight T. M., Pullin A. S. Greening cities for cooling cities and towns: a systematic review of empirical data // Landsk. City Plan. 2010. No. 97. p. 147-155.
8. Lin B., Lin S. Preliminary study of the influence of the spatial location of urban parks on the reduction of local temperature // Urban Current. Urban Green. 2016. No. 20. p. 348-357.
9. Chow B. K., Mackenzie T. L., Sit K. H. P. Public parks in Hong Kong: Characteristics of physical activity zones and their users // Environment. 2016. No. 13. p. 115-124.
10. Tao H., Chen M., Zhang U., Bai Y. Classification and its relation to the functional analysis of urban parks: on the example of Beijing // Geographical studies of the area. 2013. No. 32. p. 1964-1976.

11. Gong L., Mao B., Qi Yu., Xu S. Analysis of satisfaction with the infrastructure of suburban parks in Beijing // *Urban Current. Urban green*. 2015. No. 14. p. 480-489.
12. Xiao Yu., Li Z., Webster S. Assessment of the mediating influence of private green spaces on the relationship between urban public green spaces and the value of real estate: data from Shanghai // *China. Land Use Policy*. 2016. No. 54. p. 439-447.
13. Yuan L., Xu P. Accessibility of park green spaces in the central districts of Beijing // *Urban Environment. Urban Ecology*. 2015. No. 22. p. 22-25.
14. Hu X. Death and life of small towns in China from the point of view of urban problems // *Hebei Academy of Sciences*. 2016. No. 36. p. 159-163.
15. Шевченко М. Ю. История архитектуры и градостроительства Китая. М.: Архитектура-С, 2019. 480 с.

16. Xu Z., Gao S. Evaluation of urban parks based on big data: an example from China // *Sustainable Development*. 2019. No. 11 (7). p. 21-25.
17. Bertram K., Meyerhoff J., Redants K., Wustemann H. Differences in the recreational value of urban parks // *Urban Plan*. 2017. No. 159. p. 5-14.
18. Chen K., Hou Yu., Wu S. Assessment of accessibility of urban parks in Shaoxing city from the point of view of equality of opportunities // *Nauk. Geogr. Sin*. 2016. No. 36. p. 375-383.
19. Kolchar R. A., Silasi P. Assessment of accessibility of urban green spaces on the basis of isochronous maps // *Environment of the Earth*. 2018. No. 13. p. 31-36.
20. Tian Yu., Jin K., Liu Yu. Using the spatial interaction model to assess the accessibility of district parks in Hong Kong // *Sustainable Development*. 2017. No. 9. p. 19-24.

REFERENCES

1. Li F. Research on the construction of urban ecological parks. *Anhui Agricultural University*. 2010;4:43-49.
2. Deng I. Development of urban ecological parks and discussion of their concepts. *Chinese Garden*. 2003;12:51-53.
3. Shi C. Analysis of ecological sensitivity of urban ecological parks. *Zhongnan University of Forest Science and Technology*. 2011;2:225-235.
4. Chen Yu. Trend of development of modern ecological urban parks. *Urban architecture*. 2014;2:6-7.
5. Wei CC, Chen XYu. Research on the development of urban ecological parks and their functions. *Modern gardening*. 2013;18:149-150.
6. Wen H, Zhang Yu, Zhang L. Assessment of the impact of urban landscapes on housing prices in Han Zhou, China. *Urban Current. Urban green*. 2015;14:1017-1026.
7. Bowler DE, Buyung-Ali L, Knight TM, Pullin AS. Greening cities for cooling cities and towns: a systematic review of empirical data. *Landsk. City Plan*. 2010;97:147-155.
8. Lin B, Lin S. Preliminary study of the influence of the spatial location of urban parks on the reduction of local temperature. *Urban Current. Urban Green*. 2016;20:348-357.
9. Chow BK, Mackenzie TL, Sit KHP. Public parks in Hong Kong: Characteristics of physical activity zones and their users. *Environment*. 2016;13: 115-124.
10. Tao H, Chen M, Zhang U, Bai Y. Classification and its relation to the functional analysis of urban parks: on the example of Beijing. *Geographical studies of the area*. 2013;32:1964-1976.
11. Gong L, Mao B, Qi Yu, Xu S. Analysis of

- satisfaction with the infrastructure of suburban parks in Beijing. *Urban Current. Urban green*. 2015;14:480-489.
12. Xiao Yu, Li Z, Webster S. Assessment of the mediating influence of private green spaces on the relationship between urban public green spaces and the value of real estate: data from Shanghai. *China. Land Use Policy*. 2016;54:439-447.
13. Yuan L, Xu P. Accessibility of park green spaces in the central districts of Beijing. *Urban Environment. Urban Ecology*. 2015;22:22-25.
14. Hu X. Death and life of small towns in China from the point of view of urban problems. *Hebei Academy of Sciences*. 2016;36:159-163.
15. Shevchenko MYu. History of Architecture and Urban Planning of China. Moscow: Arkhitektura-S; 2019. 480 p. (In Russ.)
16. Xu Z, Gao S. Evaluation of urban parks based on big data: an example from China. *Sustainable Development*. 2019;11(7):21-25.
17. Bertram K, Meyerhoff J, Redants K, Wustemann H. Differences in the recreational value of urban parks. *Urban Plan*. 2017;159:5-14.
18. Chen K, Hou Yu, Wu S. Assessment of accessibility of urban parks in Shaoxing city from the point of view of equality of opportunities. *Nauk. Geogr. Sin*. 2016;36:375-383.
19. Kolchar RA, Silasi P. Assessment of accessibility of urban green spaces on the basis of isochronous maps. *Environment of the Earth*. 2018;13:31-36.
20. Tian Yu, Jin K, Liu Yu. Using the spatial interaction model to assess the accessibility of district parks in Hong Kong. *Sustainable Development*. 2017;9:19-24.

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,
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 Jingyi,
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, 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 Jingyi, Kozlov V. V. have equal author's rights. Hao Jingyi bears the responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Статья поступила в редакцию 04.07.2022.
Одобрена после рецензирования 21.07.2022.
Принята к публикации 22.07.2022.

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 04.07.2022.
Approved after reviewing 21.07.2022.
Accepted for publication 22.07.2022.

**Обзор дачного строительства Петербургской губернии с XVIII до начала XX века (типология поселений и периодизация)**

© Ольга Ивановна Черных

Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия,
chernykhchio@yandex.ru

Аннотация. Цель – изучение историко-архитектурного наследия петербургского дачного строительства и выявление его значимости как составной части культурного наследия. В исследовании применялись такие методы, как натурные обследования и архитектурные обмеры, фотофиксация изучаемых объектов, архивные изыскания в музеях и архивах, историко-библиографический поиск в фондах хранения редких старинных книг и картографических отделах научных библиотек. В результате работы изучен феномен дачного отдыха. Выявлены особенности дачной среды петербуржцев. С одной стороны, дачная среда связана с традициями пространственной организации городов и сельских поселений России. С другой стороны, дачная среда самобытна: в ее планировке и композиции отсутствует жесткая иерархия, а главным фактором формообразования выступает природная среда. Определена периодизация дачного строительства: 1703 год – 1830-е, 1830-е – начало 1860-х, 1860-е – 1890 год, 1890-е – 1917 год. Выявлены зоны активного дачного освоения. Так, дачное строительство в Петербургской губернии производилось преимущественно вдоль шоссе, водных путей, железных дорог и побережья Финского залива. Определена типология дачных поселений: дачный пригород, дачная деревня, дачная местность и дачный поселок. Эти типы дифференцировались на основе величины территории и численности населения, права владения землей и организации жизнедеятельности в них, типа возникновения и административного статуса, принципов пространственно-планировочной структуры. Автор обращает внимание на ценность уникального историко-архитектурного наследия дачных поселений Петербургской губернии и важность его освоения и сохранения. Предлагается использовать традиции создания высокохудожественной и оптимально организованной среды дачного отдыха при планировании современных пригородных территорий для отдыха.

Ключевые слова: дача, дачная среда, дачные поселения, дачный пригород, дачная местность, дачная деревня

Для цитирования: Черных О. И. Обзор дачного строительства Петербургской губернии с XVIII до начала XX века (типология поселений и периодизация) // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 3. С. 458–469. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-3-458-469>.

Original article**A review of dacha construction in the St. Petersburg province from the 18th to the beginning of the 20th century (settlement typology and periodisation)****Olga I. Chernykh**Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia, chernykhchio@yandex.ru

Abstract. The historical and architectural heritage of St. Petersburg dacha (summer residence) as part of Russia's cultural heritage was studied. The research methods included on-site inspections and architectural measurements, photo-fixation of studied objects, archive and museum search, historico-bibliographical search in the repositories of rare ancient books and cartographic divisions of scientific libraries. As a result, the phenomenon of "dacha recreation" was studied. Specific features of the St. Petersburg dacha environment were revealed. On the one hand, the dacha environment is associated with the traditions of spatial organisation of cities and rural settlements in Russia. On the other, the dacha environment is characterised by originality and the absence of a rigid hierarchy in its planning and composition, with the natural environment representing the major formative factor. The determined periodisation of dacha

construction included the 1703–1830s, 1830s–early 1860s, 1860s–1890s and 1890s–1917 periods. Areas of active dacha construction were revealed. Thus, dacha construction in the St. Petersburg province was performed predominantly along highways, waterways, railroads and coastline of the Gulf of Finland. A typology of dacha settlements was proposed, including dacha suburbs, dacha villages, dacha resorts and dacha settlements. These types were differentiated in terms of size and population, title and organisation of living activities, type of foundation and administrative status, as well as principles of 3D-planning structure. Particular attention is paid to the unique historical and architectural value of dacha settlements of the St. Petersburg province and importance of its exploration and preservation. It is proposed to use the traditions of creating highly-artistic and optimally-organised dacha recreation environments during the design of contemporary suburban recreational spaces.

Keywords: summer cottage, suburban environment, suburban settlements, suburb, suburban area, suburban village

For citation: Chernykh O. I. A review of dacha construction in the St. Petersburg province from the 18th to the beginning of the 20th century (settlement typology and periodisation). *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'* = *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(3):458-469. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-3-458-469>.

Введение

В русской строительной культуре одно из наименее изученных направлений – это дачное строительство исторически сложившихся поселений. Автор в данной статье предлагает обзор материалов собственного диссертационного исследования, которое было завершено успешной защитой в институте имени И. Е. Репина при Академии художеств РФ. Данная работа была первым системным и комплексным обобщением материалов по изучению дачной среды: дачных зон и дачных поселений; дачной усадьбы и дачной архитектуры, и это первая работа, целиком и полностью посвященная теме дачного строительства¹. Автор статьи посвятил изучению заявленной темы много лет, и многие материалы еще ожидают публикации.

Предшественники автора, историки архитектуры, изучали в основном только стилистику дачной архитектуры коротких исторических периодов (каждый лишь свой отрезок времени), не касаясь иных аспектов темы. Искусствоведы исследовали творчество отдельных архитекторов, упоминая проектирование ими дачных особняков среди прочих проектных работ. Философы и социологи изучали отдых на даче как «образ жизни» петербуржцев. Культурологи рассматривали дачу как социально-культурный феномен, не затрагивая тему дачи как самостоятельного «типа» дома. «В архитектуроведении и искусствоведении преобладают исследования, рассматривающие эволюцию стилевых направлений в зодчестве. Среди них есть великолепные работы, которые глубоко раскрывают творческие достижения в области... архитектуры

разных эпох» [1, с. 96]. У всех ученых-предшественников был весьма односторонний подход к изучению огромной темы.

Особенностью же исследования автора является ознакомление со средой дачного отдыха на всех ее уровнях: объект – поселение – зона – регион (в данном случае Петербургская губерния в современных границах Ленинградской области).

Возрождение лучших традиций создания высокохудожественной и оптимально организованной среды дачного отдыха, созданной профессиональными архитекторами и гражданскими инженерами прошедших столетий, чрезвычайно актуально из-за низкого качества среды загородного отдыха современных горожан. Задача комплексного исследования темы как архитектурно-художественного и архитектурно-градостроительного феномена является особенно актуальной не только в научно-академическом плане, но и для современной архитектурной практики. Оно закрепляет в общественном сознании ценность этого исчезающего уникального наследия и способствует его сохранению и освоению. Сбережение историко-культурного наследия и его пропаганда, пробуждение исторической памяти должно стать характерной чертой современного культурного сознания. И значимо то, что именно в Санкт-Петербурге возникло движение в защиту культурного наследия России.

Цель исследования: изучить историко-архитектурное наследие Петербургского дачного строительства для выявления его значимости как составной части культурного наследия.

¹Черных О. И. Дачное строительство Петербургской губернии XVIII – начала XX вв.: автореф. дис. ... канд. архит.: 18.00.01. СПб, 1993. С. 25.

Задачи исследования: а) выявить особенности эволюции среды отдыха петербуржцев; б) проанализировать феномен петербургских дачных поселений и выявить их типологию; в) определить периодизацию дачного строительства (в обозначенных хронологических и территориальных границах); г) уточнить значение терминов «дача», «дачная местность», «дачный пригород», «дачная деревня», «дачный поселок».

Объект исследования: территории исторической дачной застройки (поселения, усадьбы и дачные дома) как важные объекты архитектурно-планировочной деятельности.

Предмет исследования: архитектурно-художественные и архитектурно-планировочные традиции организации среды дачного отдыха петербуржцев обозначенного периода времени.

Границы исследования: а) территориальные: Санкт-Петербург – окрестности города – пригородная зона – Ленинградская область (в границах Петербургской губернии); б) хронологические: XVIII век (с 1703 года – времени основания Санкт-Петербурга) – XIX век – начало XX века (до Революции 1917 года).

Научная новизна работы определяется самой постановкой темы в качестве объекта и предмета исследования, а также многоаспектностью, разносторонностью ее изучения.

Автор заложил архитектурно-историческую, географическую основу для дальнейших исследований.

Методы

В работе применялись следующие методы: натурные обследования и архитектурные обмеры; фотофиксация изучаемых объектов; архивные изыскания (в музеях и архивах); историко-библиографический поиск (в фондах хранения редких старинных книг и картографических отделах научных библиотек).

Изученность вопроса на современном этапе

Автору всегда был интересен размах такого явления, как «отдых на даче». И поскольку дачный вид отдыха зародился в XVIII веке именно в Санкт-Петербурге (столице Российской империи на тот период времени), было решено создать общую картину дачного строительства на территории Петербургской губернии (современной Ленинградской области). Но было ясно, что при изучении столь огромной области и очень большого исторического периода невозможно охватить детально все уголки исследуемой территории, учесть все существующие дачные строения и отыскать в архивах все проектные

чертежи. Прошло время, и теперь детализацией и уточнением уже долгие годы занимаются многочисленные исследователи – последователи автора, который весьма им признателен за ссылки на его диссертацию, автореферат и статьи по дачной теме. Одни из них занимаются установлением конкретных исторических фактов, например того, кто, где и когда построил дачный домик или огромный загородный особняк, выясняют, кто им владел первоначально и кому он принадлежал в дальнейшем. Информация накапливается и публикуется в альманахах [2, с. 88] и сборниках научных трудов и материалов конференций [3, с. 255].

Другие занимаются атрибуцией дачных строений, выясняют авторство проектов. Одни из них проводят эту работу в рамках деятельности центров сохранения историко-культурного наследия Петербурга, другие работают по грантам, проводят выставки, издают каталоги. Так, был издан биографический справочник² об архитекторах Карельского перешейка («русской Финляндии») – проектировщиках дач на этой территории, которые создали изумительно красивые творения, сформировавшие неповторимый дачный пейзаж.

Современные архитекторы, историки, искусствоведы, культурологи, краеведы теперь имеют в руках бесценную систематизированную информацию. Большинство современных исследователей изучают локальные территориальные зоны дачной застройки, например дачные окрестности отдельных населенных пунктов, таких как Сестрорецк, Зеленогорск (Терийоки) [4]; Комарово, Репино (Келломяки и Куоккала) [5] и других. Многие изучают узкие отрезки времени кратких исторических периодов. Безусловно, все эти исследования важны и нужны. Они воссоздают по крупицам картину уходящей природы – дачной и курортной архитектуры – меняющийся дачный пейзаж. Автор данной статьи надеется, что дачная тематика найдет своих исследователей и в дальнейшем.

Теоретическая часть

Типология дачных поселений

В системе типологических характеристик поселений долгое время отсутствовало пояснение терминов «дачное поселение», «дачные окрестности», «дачный поселок» и других. Накопленный фактический материал позволил обозначить разнохарактерность дачных мест и сформулировать их названия и определения.

В результате изучения дачных территорий автором выделены четыре типа дачных поселений, которые сформировались с XVIII до начала

²Травина Е. М., Лешошко С. С. Архитекторы Карельского перешейка: от Солнечного (Оллила) до Приветнинского (Инониеме). 1880–1939: биографический справочник. СПб: ООО Издательский центр «Остров», 2016.

XX века. Их определения сформулированы в диссертации и автореферате³ автора.

Дачные пригороды изучаемого периода представляли собой: места разрозненного строительства дачных загородных особняков в отдаленных окрестностях городов (примеры: Санкт-Петербург, Петергоф, Павловск, Царское Село, Выборг); а также логичное продолжение и развитие уличной сети городов в их ближайшем окружении (примеры: Сестрорецк, частично Петербург); или даже вкрапление в зеленые зоны городов отдельных дачных усадеб (примеры: Луга, Гатчина).

Дачные деревни: это сельские поселения (деревни), где в теплое время года (в основном летом) практиковалась аренда (наем) сельских (крестьянских) домов под дачи (примеры: Бобыльская, Большие Клабутицы, Заманиловка, Кабловка, Келково, Клочки, Лампово, Мапиновка, Мурзинка, Паново, Старожиловка, Старо-Сиверская).

Дачные местности рассматриваемого периода: либо территории с дачными домиками, появившимися на базе села, деревни (примеры: Белоостров, Гражданка, Красное Село, Новая Кирка, Сосновка); либо возникшие на территории отдельного изолированного частного владения – мызы или имения (примеры: Ваммельсуу, Графская, Дудергоф, Коерово, Кушелевка, Осиновая роща, Перкярви, Полюстрово, Татьянино, Шувалово).

Дачные поселки начала XX столетия являли собой: самостоятельные населенные пункты, предназначенные для отдыха на даче, специально для этого спланированные и спроектированные (имеющие рациональную планировочную структуру и хорошо продуманное зонирование территории; дачные домики были спроектированы профессиональными архитекторами; жители вели специфический образ жизни – «дачный» с концертами, спектаклями, катанием на лодках, прогулками и играми). Примеры: Александровка, Владимировка, Вырица, Кангакуля, Карташевская, Ольгино, Сиверский, Таврида, Тайцы, Фаворито, Удельная и другие (см. подробнее [6]).

Дачные поселки появлялись на рубеже XIX и XX столетий на свободных землях. Они планировались исключительно для дачного отдыха. Эти незастроенные территории приобретали товарищества дачников, кооперативы и акционерные общества. Места загородного отдыха

превращались в обширные дачные зоны, расположенные вдоль железнодорожных магистралей и распространявшиеся по всем направлениям, но преимущественно на север губернии (по побережью Финского залива) и далеко на юг (по направлению к г. Луга), где более благоприятный климат.

По итогам многолетнего изучения дачной темы автором статьи были выявлены принципиальные отличия поселков дачного и сельского. Список критериев отличий выглядит следующим образом: а) функция (временный отдых в летнее время или постоянное проживание); б) принцип осуществления строительства: через акционерные общества (товарищества и кооперативы дачников) или по частному заказу проекта профессионалу-проектировщику (в любом случае обязательное официальное утверждение архитектурного проекта); в) приемы архитектурно-планировочного решения и принципы благоустройства. Для дачного поселка начала XX века была характерна регулярная форма планировки поселка, функциональное зонирование его территории, структурный состав архитектурно-планировочных элементов (парков и спортивных площадок; курзалов, вокзалов, театров и театральных площадок; мест проведения праздников и концертов; врачебных пунктов, торговых мест и купален; велосипедных дорожек и прочего); г) организация жизнедеятельности в дачных поселках с помощью «обществ благоустройства дачных мест» (организация развлечений и прогулок; спектаклей и концертов; торговли и оказания медицинской помощи; организация пожарной охраны и другое); д) права владения землей (частная собственность на землю или аренда) [6, с. 59]. Схемы планировок опубликованы в статье о дачных поселках [6, с. 60–64]. Очерки по истории дачных поселений даны в приложениях к кандидатской диссертации автора⁴. В 1909 г. состоялся 1-й Санкт-Петербургский съезд представителей дачных поселков, на котором было сформулировано определение термина «дачный поселок»: это «населенный пункт, который был задуман и распланирован для дачных участков на ранее не освоенной территории и по утвержденному надлежащей властью плану. Заселявшие его жители, как правило, не занимались сельским хозяйством» [7, с. 181]. Деятельность различных «дачных обществ» была закреплена в уставах⁵ этих обществ и

³Черных О. И. Дачное строительство Петербургской губернии XVIII – начала XX вв.: автореф. дис. ... канд. archit.: 18.00.01. СПб, 1993. С. 20.

⁴Там же. 28 с.

⁵Устав общества «Дачные поселки»: утв. 12 июля 1903 г. СПб.: Сенатская типография, 1903. С. 13.

публиковалась с целью общей осведомленности. Но предложенная автором выше формулировка термина «дачный поселок» более полно раскрывает содержание этого понятия.

Термин «дача»

В названиях типов поселений для отдыха присутствует определение «дачный», а значит, необходимо дать определение понятию «дача». Содержание данного термина менялось на протяжении времени. Так, в «Этимологическом словаре» М. Фасмера приводится первоначальное значение этого слова: «Дарованная князем земля»⁶. Далее в XVIII и XIX веках термин «дача» нес в себе смысл «ограниченной территории земли». В «Энциклопедическом словаре» Ф. А. Брокгауза и И. А. Ефрона читаем о том, что «дача была термином межевого законодательства, обозначающим некое пространство земли... при этом земли раздавали за службу...»⁷.

В «Словаре современного русского языка» читаем следующее определение, относящееся к XIX веку: дача – это «...участок земли, являющийся собственностью землевладельца (или монастыря, завода, лесничества)»⁸. В энциклопедии П. Р. Фурмана за 1842 год находим: «Дачей называется загородный дом, в который городские жители удаляются в летнее время...»⁹. И наконец, в словаре 1954 г. значится, что «дача – загородный дом для летнего отдыха городских жителей... а также местность за городом... для отдыха»¹⁰.

Таким образом, в трактовке термина «дача» соединены два разных понятия: просто «земельный участок» и «дачный дом с территорией для отдыха». В обоих случаях термин содержит в себе указание на связь с земельным участком (при этом не важно, находится земля в собственности или арендуется). С учетом всех существовавших ранее определений автор сформулировал свое: «Дача – это загородное жилище (дом + участок) для временного пребывания и отдыха»¹¹.

Периоды дачного строительства

Ретроспективный анализ выявил четыре периода дачного строительства¹²:

А) Период первый. XVIII век (1703 год – основание Санкт-Петербурга) – первая треть XIX века.

Ведущий градостроительный тип дачного поселения – дачный пригород.

Ареалы распространения дачной усадебной застройки: набережные и устье реки Невы, набережные реки Фонтанки, южное побережье Финского залива. Радиус удаленности от столицы примерно 20 км. Это петербургские окраины и ближайшие окрестности царских резиденций (Петергофа, Ораниенбаума, Стрельны). Пути распространения загородного строительства: водные артерии, реже – дороги. Функции «дачи» в этот период выполняли резиденции царской фамилии и усадьбы привилегированных лиц. Выезд на дачи представителей высшего сословия был связан с переездом царского двора в летние резиденции на Невских островах или в загородные резиденции. Характерный тип дачной усадьбы: жилой дом (объем, расположенный среди открытого пространства); обширный сад для прогулок и множество хозяйственных строений. Загородные дома несут в себе признаки традиционной русской городской усадьбы, при этом отличаются подходом к организации территории участка земли. По стилистическим характеристикам и объемно-планировочному решению загородные особняки для дачного отдыха очень близки к городским домам. Архитектурные стили: барокко, классицизм.

Первый период: загородное усадебное строительство – это предыстория возникновения дачи как типа дома.

Б) Период второй. 1830-е годы – вторая треть XIX века.

Типы дачных поселений: сохраняются дачные пригороды; складываются дачные деревни (с арендой на лето сельских домиков) и формируются первые дачные местности.

Ареалы дачных поселений обширны: на петербургских островах, вдоль Невы и южного берега Финского залива, начинает осваиваться северное побережье Финского залива, формируются локальные зоны вокруг Павловска, Петергофа, Царского Села.

⁶Фасмер М. Этимологический словарь русского языка: в 6 т. Т. 1. Ленинград: Издательство АН СССР, 1986. С. 486.

⁷Брокгауз Ф. А., Ефрон И. А. Энциклопедический словарь: в 86 т. Т. 19. СПб: Издание, 1893. С. 162.

⁸Словарь современного русского литературного языка. Москва, Ленинград: Издательство АН СССР, 1954. С. 566.

⁹Фурман П. Р. Энциклопедия русского, городского и сельского хозяина – архитектора, садовода, землемера, мебельщика и машиниста. СПб: Издание Департамента сельского хозяйства, 1842. С. 29.

¹⁰Словарь современного русского литературного языка. Москва, Ленинград: Издательство АН СССР, 1954. С. 566.

¹¹Черных О. И. Дачное строительство Петербургской губернии XVIII – начала XX вв.: автореф. дис. ... канд. архит.: 18.00.01. СПб, 1993. С. 14.

¹²Там же. С. 18.

Радиус удаленности от Петербурга составлял около 60 км вдоль шоссейных и строящихся железных дорог. Именно последние стимулировали распространение дачной застройки.

Тип дачной усадьбы сохраняется старый, но уже с более узкими хозяйственными функциями (стало меньше число надворных построек в связи с временностью пребывания на даче – преимущественно только в теплое время года). Социальная иерархия проявлялась в том, что высшие круги общества имели личные дачи, средние слои – преимущественно наемные дачи.

Дачная архитектура формируется как особый отдельный жанр.

Архитектурные стили: ранняя эклектика, ретроспективно-стилизаторские тенденции, развитие рационалистических тенденций в архитектуре. Разработке идей «рациональной архитектуры» было посвящено исследование известного историка архитектуры А. Л. Пунина¹³. Архитектуре эклектики посвящены книги этого же автора [8, 9].

Второй период: загородный дом дворцового типа вытесняется особняком «нового типа». Формируется тип «дачного дома». Происходит поиск архитектурно-художественных решений и дифференциация образов дачных домов.

В) Период третий. 1860-е годы – последняя треть XIX века.

Преобладающий тип дачных поселений: дачные местности. Сохраняются и другие вышеупомянутые типы.

Дачные зоны: широко распространились вдоль железных и шоссейных дорог.

Радиус удаленности: 80–90 км (местами не более 100 км) к северу и к югу от столицы империи.

Социальный диапазон дачников достаточно широк. На дачи выезжают не только состоятельные и среднеобеспеченные люди, но и малоимущие граждане. Дачная усадьба предназначена теперь только для отдыха, и ее хозяйственные функции минимальны (за редким исключением). Архитектурные стили: расцвет эклектики и поздняя эклектика [9]. Символом дачи стал «сказочный домик», «игрушечный домик». Специфика дачного дома: свободная композиция плана, асимметрия объема, живописный силуэт, наличие архитектурных элементов (работающих на связь внутреннего пространства и окружающей среды). Это такие элементы и формы: веранда или терраса; балкон и замысловатое крыльцо; мезонин или мансарда; башенка.

Башня или башенка стала очень распространенным элементом композиции дачного дома.

Третий период: ко второй половине XIX века завершилось формирование дачи как типа дома.

Г) Период четвертый. 1890-е годы – начало XX века (1917 год – в России социалистическая революция).

Ведущий тип поселения: дачный поселок, который сформировался на рубеже столетий.

Дачные территории: распространились вдоль железных дорог (преимущественно на север по Карельскому перешейку и далеко на юг до района города Луга).

Радиус удаленности от Санкт-Петербурга: 100–180 км во всех направлениях.

Социальный диапазон дачников широк. Дачное строительство приобрело огромный размах, а отдых на даче приобрел массовый характер. На дачи выезжали представители практически всех социальных слоев. Различия состояли лишь в уровне комфорта и длительности дачного отдыха. Наблюдался феномен «дачных колоний» художников, артистов, архитекторов и других представителей творческой интеллигенции. Дачная усадьба имеет исключительно рекреационную функцию. Декоративный дачный сад составляет основу усадьбы, его функция – эстетическая. Дачный сад наиболее соответствует специфике дачного образа жизни, дачного отдыха.

Архитектурные стили: наряду с различными направлениями и течениями «неостилей» [10] эклектики (историзма) и неоклассицизма широко распространился стиль модерн. Наиболее характерен для этого периода модерн «ранний» [11], «романтический» [12] и «северный» [13].

Четвертый период: в данный период проявились принципиально новые черты дачестроения. Они отразились в типологии (образование дачного поселка как типа поселения, изменение типа усадьбы и окончательное формирование дачи как типа дома) и организационном обеспечении строительства и отдыха (развернули деятельность акционерные общества, дачные кооперативы и общества благоустройства дачных мест).

Дачные усадьбы и домики, выполненные профессиональными архитекторами прошлых столетий, представляют собой своеобразные «музеи под открытым небом». К сожалению, за последние 20 лет большое количество объектов было утрачено в связи с ветхостью и

¹³Пунин А. Л. Идеи «рациональной» архитектуры в теоретических воззрениях русских зодчих второй половины XIX – начала XX века: автореф. дис. ... канд. архит. Ленинград, 1966. 28 с.

непригодностью к их дальнейшему использованию. Но сохранившиеся объекты и планировочные принципы организации дачных поселений, особенно дачных поселков начала XX века, представляют собой несомненный интерес.

Результаты и их обсуждение

Наибольшее распространение дачное строительство получило: вдоль шоссейных дорог, водных путей, железнодорожных магистралей и вдоль побережья Финского залива (см. подробнее [14]). Подходы к организации дачной среды складывались в разные эпохи с учетом конкретных историко-культурных, экономических условий и в соответствии с социальным заказом своего времени. Основой периодизации Петербургского дачного строительства стало качественное изменение среды отдыха рассматриваемой эпохи (см. подробнее [15]). Эволюция дачной среды в губернии соответствовала основным стадиям развития Невской столицы: 1703 год – 1830-е годы; 1830-е – начало 1860-х годов; 1860-е – 1890 год; 1890-е годы – 1917 год. Каждый период имел следующие отличительные особенности: а) ареалы распространения дачной застройки (то есть дачные зоны); б) формы собственности дачного жилья (аренда или частная собственность); в) социальные слои и группы, практикующие отдых на даче; г) тип дачного поселения; д) организационное обеспечение дачного отдыха; е) состав, форма и функция дачной усадьбы; ж) стилевые предпочтения архитектуры. Выявлены 4 типа дачных поселений: дачный пригород, дачная деревня, дачная местность и дачный поселок. В основе типологии лежит характеристика дачных мест по нескольким признакам: а) величина территории и численность населения (самыми большими по площади являются дачные поселки, при этом для оценки численности населения имеет значение процентное соотношение местных жителей и дачников – это важно для дачных деревень и местностей, поскольку в поселках дачниками являются все обитатели); б) право владения землей и организация жизнедеятельности в дачных поселениях; в) тип возникновения и административный статус, самостоятельность дачного поселка или принадлежность к какому-либо населенному пункту: селу, деревне, мызе или имению; г) принципы пространственно-планировочной структуры. Особого внимания заслуживают «дачные поселки», сформированные в период двух первых десятилетий XX века, поскольку это был расцвет дачного строительства в России. В тот период дачные постройки проектировались исключительно профессиональными архитекторами (в отличие от современной ситуации, когда каждый владелец дачи проектирует ее самостоятельно и далеко не

всегда успешно, поэтому внешний вид дачных территорий весьма плачевен). Дачными поселками уже в то время были окружены Санкт-Петербург, Москва, Киев, Нижний Новгород и другие крупные города. Строительство дачных поселков – это особая область отечественного градостроительного искусства, к возникновению которой привела совокупность социально-экономических, природно-климатических, историко-культурных и философско-эстетических предпосылок. В своем исследовании автор выделяет «дачный поселок» как самостоятельный тип поселения. Основанием для этого являются композиционные принципы, традиции и характерные особенности: а) компактность и наличие ярко выраженной регулярности; б) сочетание регулярности и живописности (регулярность целого дополнялась свободной композицией дачной усадьбы); в) функциональное зонирование территории и акцентирование природных особенностей ландшафта; г) наличие сложного раздробленного центра и системы мест отдыха; д) выделение главной композиционной оси в структуре застройки; е) наличие обязательного стандартного набора общественных зданий разных типов (вокзал, театр, церковь или часовня, пристань для водного транспорта, купальни, больница (лечебница) или домик доктора (частный кабинет); ж) наличие архитектурных доминант и архитектурных ориентиров (пожарная вышка-каланча, смотровая-видовая площадка, церковь, часовня, красивые домики – доминанты на пересечении улиц и на возвышенных точках рельефа); з) объединение архитектурно-пространственной структуры каким-либо природным элементом; и) целостность облика поселка и его индивидуальность.

Таким образом, изучение истории дачного строительства в окрестностях Северной столицы показало, что среда дачных поселений самобытна (в ее основе лежат природные условия, особенности ландшафта) и в то же время имеет характерные признаки типологического сходства с идеями «городов-садов». Эта идея была присуща европейскому градостроительству рубежа XIX–XX столетий [16–18]. В условиях нашего Отечества идея «города-сада» зачастую реализовывалась в форме «поселка-сада», который приобретал на практике «дачный» характер, либо уже изначально проектируемый дачный поселок имел признаки «поселения-сада». Для дачных домиков была характерна свобода объемно-планировочных решений и декоративного оформления фасадов (в соответствии со вкусами заказчиков и предложениями проектировщиков). Авторы проектов загородных «дачных» домов имели больше свободы для творческого эксперимента, чем при

проектировании городских зданий. Именно поэтому в «дачном строительстве» сделали свои первые шаги такие архитектурные стили, как эклектика (историзм, ретроспективизм) и модерн. Сказывалось влияние архитектурных традиций таких европейских стран, как Финляндия и Швейцария. Дачные дома, имеющие интерпретацию мотивов финской архитектуры, позволили появиться на территории Петербургской губернии так называемой финской дачи. Помимо этого, например, «швейцарский стиль» (разновидность направления «историзм») также повлиял на загородную архитектуру Санкт-Петербурга, что отразилось в наличии элементов «швейцарских шале» в архитектуре дачных построек [19].

Дачи в «швейцарском стиле» и «финские дачи» получили распространение в северной и северо-западной частях изучаемой губернии. В восточной и южной частях Петербургской губернии получили распространение дачи с интерпретацией характерных признаков «русского» зодчества. Такие дачные дома можно объединить под названием «русская дача». Период расцвета «эклектики» характеризовался использованием мотивов практически всех исторических стилей (их новым прочтением и интерпретацией).

Дача как объект архитектуры была фактически «творческой лабораторией» для поисков профессиональных архитекторов, где они смело применяли новые формы, детали, композиционные и планировочные приемы. Вполне можно утверждать, что загородная «дачная архитектура» была своеобразным полигоном для рождения новых направлений и стилей, которые после апробации распространялись на архитектуру городскую.

В архитектуре дачных домов упомянутые стили получили своеобразную интерпретацию, что позволяет автору предлагать новую терминологию: «дачная эклектика» (архитектура дач второй половины XIX века) и «дачный модерн» (архитектура рубежа XIX и XX столетий). Уклад жизни петербуржцев стал «источником развития особой атмосферы дружеского общения и проведения досуга, появления новых архитектурных стилей» [20, с. 124]. В том числе это повлияло на особенности организации дачного отдыха и архитектуру дачных поселений.

Подобные принципы организации можно считать «примером для подражания для остальной части России как с архитектурной, так и с градостроительной точки зрения» [21, с. 89].

В настоящее время актуальной является проблема сохранения дачных построек, представляющих собой объекты культурного

наследия. Так, статьи последних лет посвящены даче Сиверса [21], даче Бенуа [22], даче Шауба [23].

Кроме того, исследователи все чаще предлагают подробную классификацию дачных построек в разных регионах России, что позволяет «систематизировать объемно-пространственные и архитектурно-планировочные решения для дальнейшего поиска оптимальных моделей жилища в этих планировочных зонах» [24, с. 86].

Практическая значимость работы

В научный оборот введены историко-архитектурные знания, осветившие в современной историографии комплексно и всесторонне целый культурный слой – дачное строительство Петербургской губернии. Результаты исследования могут быть использованы: а) при проведении мероприятий в области охраны, реставрации и пропаганды сохранения историко-архитектурного наследия; б) осуществлении исторических исследований для разработки планировки и застройки исторически сложившихся дачных поселений; в) разработке истории архитектурно-градостроительного развития Петербурга и Ленинградской области; г) проектировании современных дачных поселков и садоводческих товариществ в России.

Работа внесет вклад в концепцию сохранения исторических поселений. Это понятие включает в себя «максимальное сохранение целостной исторической среды, ее масштаба и понятия “памяти места”, использование исторического наследия в социокультурных целях, сохранение соотношения между исторической средой и современной застройкой в пользу исторической» [25, с. 1].

Отметим, что уникальные архитектурные панорамы прошлого сложно представить в полном объеме [26]. Однако типология как городских, так и пригородных форм помогает организовать их разнообразие с целью создания новых оптимальных пространств и доступа к таким пространствам [27]. При планировании пространств необходимо учитывать все исторические изменения, происходящие на изучаемой территории, рассматривая их в общей перспективе, оценивая глобально [28]. В целом культурные и природные качества среды могут быть улучшены посредством планирования с опорой на рассмотрение, интерпретацию и оценку исторических сооружений как социальных и культурных ценностей [29].

Города и пригороды – это сложные системы, а понимание их структуры имеет важное значение для развития региона. Результаты подобных исследований помогут инициативам в области городского, транспортного,

инфраструктурного планирования, разработки политики в сфере недвижимости, социально-экономических преобразований и др. [30].

Развитие подобных инициатив с опорой на культурный и исторический опыт способствует преодолению разрыва между частным пространством и общественными интересами (дилемма общественного/частного) [31]. Возрождение лучших архитектурных решений способствует расширению и улучшению проектируемых территорий с учетом их призвания и возможностей, способствует защите и обновлению существующего наследия [32].

Дискуссия (результаты обсуждения)

Все положения диссертации, изложенные в этом обзоре ее содержания, не вызывают споров. Следует лишь пояснить, что историки архитектуры и искусствоведы Санкт-Петербурга и Москвы зачастую применяют к одному и тому же понятию разные наименования. Если петербуржцы предпочитают термин «эkleктика», то москвичи чаще используют слово «историзм». Впрочем, одно другому никак не противоречит и оба термина применяются как равнозначные. Автор статьи для обозначения архитектуры второй половины и конца XIX века предпочитает следующее название: стиль «эkleктика».

Заключение

До наших дней дошли разнообразные дачные сооружения (дома и хозяйственные

постройки дачных усадеб и другие), являющиеся настоящими произведениями искусства. Эти памятники архитектуры деревянного и каменного зодчества создали неповторимый облик дачного окружения Санкт-Петербурга – атмосферу красоты и самобытности края. Очень важно сберечь и сохранить этот исторический облик в условиях сегодняшней урбанизации. Для современного человека по-прежнему важен, необходим и удобен отдых на даче.

Практически все города окружены СНТ (садоводческими некоммерческими товариществами), ДНТ (дачными некоммерческими товариществами) и иными дачными объединениями (кооперативами). К ним было бы весьма полезно применить архитектурный опыт, накопленный нашими предшественниками-соотечественниками. Тем более, что современные дачные территории сегодня представляют собой хаотичное строительство без регулирования и регламента застройки, и к проектированию дачных строений профессиональные архитекторы не привлекаются. Опыт прошедших времен просто забыт, хотя дореволюционные дачные строения еще существуют, и этот опыт еще можно успеть возродить и эффективно применить при строительстве современных дач. Это представляется важным для культурно-эстетического воспитания молодежи всех регионов нашей страны.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Вержбицкий Ж. М. Архитектурная культура: искусство архитектуры как средство гуманизации. СПб: Издательский дом «Азия», 2010. 136 с.
2. Ушакова О. Б. Вилла «Арфа» Барановского Г. В. Опыт графической реконструкции // Фонтанка: культурно-исторический альманах. 2015. № 18. С. 86–91.
3. Пунин А. Л. Понятие стиля эпохи модерна // 100 лет петербургскому модерну: мат-лы науч. конф. (30 сентября – 2 октября 1999 г.). СПб.: Альт-софт: Белое и черное, 2000. С. 256.
4. Браво А. Е., Травина Е. М. Зеленогорск. Терийоки: Дачная жизнь сто лет назад. СПб: ЦСК Наследие, 2016. 264 с.
5. Травина Е. М. Комарово и Репино. Келломяки и Куоккала: Дачная жизнь сто лет назад. СПб: ЦСК Наследие, 2014. 192 с.
6. Черных О. И. Дачные поселки Санкт-Петербургской губернии конца XIX – начала XX века // Вестник гражданских инженеров. 2012. № 2 (31). С. 56–64.
7. Труды Первого С.-Петербургского съезда представителей подстоличных поселков: 28–31 авг. 1909 г. СПб: Врем. совет С.-Петерб. поселковых съездов, 1910. 184 с.
8. Пунин А. Л. Архитектура Петербурга середины и второй половины XIX века. Т. 1: 1830–1860-е годы: Ранняя эkleктика. СПб.: «Крига», 2009. 640 с.
9. Пунин А. Л. Архитектура Петербурга середины и второй половины XIX века. Т. 2: Петербург 1860–1890-х годов в контексте градостроительства пореформенной России. СПб: «Крига», 2014. 600 с.
10. Лисовский В. Г. Архитектура России XVIII – начала XX века: Поиски национального стиля. Москва: Белый город, 2009. 568 с.
11. Горюнов В. С., Тубли М. П. Архитектура эпохи модерна: Концепции. Направления. Мастера. СПб: ЛИСИ, 1992. 240 с.
12. Кириков Б. М. Архитектура петербургского модерна: Особняки и доходные дома. СПб: Коло, 2017. 576 с.
13. Лисовский В. Г. Северный модерн: Национально-романтическое направление в архитектуре стран Балтийского моря на рубеже XIX и XX веков. Санкт-Петербург: Коло, 2016. 520 с.

14. Черных О. И. Ареалы распространения дачных поселений в XVIII–XX вв. на территории Петербургской губернии // *Danish Scientific Journal*. 2020. № 37-1. С. 3–8.
15. Черных О. И. Русская дача как социально-культурный феномен // *Преподаватель года 2020: сб. статей Междунар. науч.-метод. конкурса* (Петрозаводск, 03 мая 2020 г.): в 2 ч. Ч. 2. Петрозаводск: Новая наука, 2020. С. 185–194.
16. Семенцов С. В. Идеи «городов-садов» и традиции Санкт-Петербургского и петроградского градостроительства // *Вестник гражданских инженеров*. 2018. № 5 (70). С. 26–49. <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2018-15-5-26-49>.
17. Семенцов С. В. Города-сады: от императорского Санкт-Петербурга к социалистическому Петрограду-Ленинграду // *Дворцы, особняки, усадьбы: Музейный формат: сб. науч. статей XXIV Царскосельской конф.* (Санкт-Петербург, 26–28 ноября 2018 г.). СПб.: Серебряный век, 2018. С. 540–552.
18. Akulova N., Sementsov S. Foundation and development of the regular Saint Petersburg agglomeration in the 1703 to 1910s // *Proceedings of the 2019 International Conference on Architecture: Heritage, Traditions and Innovations (AHTI 2019)*. 2019. Vol. 324. p. 425-433. <https://doi.org/10.2991/ahiti-19.2019.79>.
19. Рыбальченко М. В. Распространение «швейцарского стиля» в загородной архитектуре Санкт-Петербурга // *Вестник гражданских инженеров*. 2022. № 2 (91). С. 15–23. <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2022-19-2-15-23>.
20. Трофимова Н. Ю., Цветаева М. Н. Философия историко-культурного пространства Санкт-Петербурга на примере наследия Каменного и Елагина островов // *Христианское чтение*. 2020. № 5. С. 124–132. https://doi.org/10.47132/1814-5574_2020_5_124.
21. Козырева Е. А., Голубинова М. Д. Ближние усадьбы высшей знати, как феномен историко-градостроительной жизни Санкт-Петербурга, на примере дачи К. Е. Сиверса // *Тенденции развития науки и образования*. 2019. № 46 (3). С. 89–92. <https://doi.org/10.18411/lj-01-2019-66>.
22. Петрашень Е. П., Сперанская В. С. Проблемы и методы сохранения архитектурного наследия. Комплекс «Дача Бенуа» в Петергофе // *Наукосфера*. 2021. № 2-2. С. 6–11. <http://doi.org/10.5281/zenodo.4564553>.
23. Доня Д. С. Сохранение объектов культурного наследия в пригородах Санкт-Петербурга // *Молодежный вестник Санкт-Петербургского гос. института культуры*. 2018. № 2 (10). С. 13–16.
24. Терешина С. А. Современная архитектурно-типологическая структура жилища на территориях дач и садоводств (на примере Ростова-на-Дону) // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2019. Т. 21. № 3. С. 86–98. <http://doi.org/10.31675/1607-1859-2019-21-3-86-98>.
25. Granstrem M., Zolotareva M. Architectural and urban planning evolution of the industrial area near Moskovskaya Zastava in Saint Petersburg // *E3S Web of Conferences*. 2021. Vol. 274. p. 01031. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127401031>.
26. Lavrov L., Perov F. Evolution of the imperial residence and urban development of the St. Petersburg center // *Architecture and Engineering*. 2019. Vol. 4. Iss. 1. p. 11-22. <https://doi.org/10.23968/2500-0055-2019-4-1-11-22>.
27. Mantey D., Sudra P. Types of suburbs in post-socialist Poland and their potential for creating public spaces // *Cities*. 2019. Vol. 88. p. 209-221. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2018.11.001>.
28. Garcia-Ayllon S. Urban transformations as indicators of economic change in post-communist Eastern Europe: Territorial diagnosis through five case studies. *Habitat International*. 2018;71:29-37. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2017.11.004>.
29. Swensen G. Between romantic historic landscapes, rational management models and obliterations – urban cemeteries as green memory sites // *Urban Forestry and Urban Greening*. 2018. Vol. 33. p. 58-65. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.04.013>.
30. Landsman D., Kats P., Nenko A., Sobolevsky S. Zoning of St. Petersburg through the prism of social activity networks // *Procedia Computer Science*. 2020. Vol. 178. p. 125-133. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.11.014>.
31. Beumer C. Show me your garden and I will tell you how sustainable you are: Dutch citizens' perspectives on conserving biodiversity and promoting a sustainable urban living environment through domestic gardening // *Urban Forestry and Urban Greening*. 2018. Vol. 30. p. 260-279. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.09.010>.
32. Gargiulo C., Sgambati S. Active mobility in historical centres: towards an accessible and competitive city // *Transportation Research Procedia*. 2022. Vol. 60. p. 552-559. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.12.071>.

REFERENCES

1. Verzhbitsky ZhM. Architectural culture: the art of architecture as a means of humanization. St. Petersburg: Asia Publishing House; 2010. 136 p. (In Russ.).
2. Ushakova OB. Villa "Harp" by Baranovsky G. V. Experience of graphic reconstruction. *Fontanka: kul'turno-istoricheskii al'manakh*. 2015;18:86-91. (In Russ.).
3. Punin AL. The concept of the style of the modern era. *100 let peterburgskomu modernu: mat-ly nauch. konf.* (30 September – 2 Oktober 1999). St. Petersburg: Al't-soft: Beloe i chernoe; 2000. p. 256. (In Russ.).
4. Bravo AE, Travina EM. Zelenogorsk. Terijoki: Dacha life a hundred years ago. St. Petersburg: CSK Nasledie; 2016. 264 p. (In Russ.).
5. Travina EM. Komarovo and Repino. Kellomyaki and Kuokkala: Dacha life a hundred years ago. St. Petersburg: CSK Nasledie; 2014. 192 p. (In Russ.).
6. Chernykh OI. Cottage settlements of Saint Petersburg province in the period of late XIX century - early XX century. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov = Bulletin of civil engineers*. 2012;2(31):56-64. (In Russ.).
7. Proceedings of the First St. Petersburg Congress of representatives of the settlements near the capital: 28-31 August, 1909. St. Petersburg: Vrem. sovet s.-peterb. poselkovykh s"ezdov; 1910. 184 p.
8. Punin AL. The architecture of St. Petersburg is a mystery and the second half of the 19th century. Vol. 1: 1830-1860s: Early eclecticism. St. Petersburg: Kriga; 2009. 640 p. (In Russ.).
9. Punin AL. The architecture of St. Petersburg is a mystery and the second half of the 19th century. Vol. 2: Petersburg in the 1860s-1890s in the professional urban planning of post-reform Russia. St. Petersburg: Kriga; 2014. 600 p. (In Russ.).
10. Lisovsky VG. Architecture of Russia in the 13th - early 20th centuries: The search for a national style. Moscow: Bely Gorod; 2009. 568 p. (In Russ.).
11. Goryunov VS, Tubli MP. Modern architecture: Concepts. Directions. Masters. St. Petersburg: LISI; 1992. 240 p. (In Russ.).
12. Kirikov BM. St. Petersburg Art Nouveau architecture: Mansions and tenement houses. St. Petersburg: Kolo; 2017. 576 p. (In Russ.).
13. Lisovsky VG. Northern Art Nouveau: National-Romantic Trend in the Architecture of the Baltic Sea Countries at the Turn of the 19th and 20th Centuries. St. Petersburg: Kolo; 2016. 520 p. (In Russ.).
14. Chernykh OI. Areas of distribution of summer cottage settlements in XVIII - XX century in the territory of the Petersburg province. *Danish scientific journal*. 2020;37-1:3-8. (In Russ.).
15. Chernykh OI. Russian dacha as a socio-cultural phenomenon. *Prepodavatel' goda 2020: sb. statei Mezhdunar. nauch.-metod. konkursa* (Petrozavodsk, 03 May 2020): in 2 parts. Part 2. Petrozavodsk: Novaya nauka; 2020. p. 185-194. (In Russ.).
16. Sementsov SV. The ideas of "garden cities" and traditions of St. Petersburg and Petrograd urban planning. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov = Bulletin of civil engineers*. 2018;5(70):26-49. (In Russ.). <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2018-15-5-26-49>.
17. Sementsov SV. Garden cities: from imperial St. Petersburg to socialist Petrograd-Leningrad. *Dvortsy, osobnyaki, usad'by: Muzeinyi format: sb. nauch. statei XXIV Tsarskosel'skoi konf.* (St. Petersburg, 26-28 November 2018). St. Petersburg: Serebryanyi vek; 2018. p. 540-552. (In Russ.).
18. Akulova N, Sementsov S. Foundation and development of the regular Saint Petersburg agglomeration in the 1703 to 1910s. *Proceedings of the 2019 International Conference on Architecture: Heritage, Traditions and Innovations* (AHTI 2019). 2019;324:425-433. <https://doi.org/10.2991/ahti-19.2019.79>.
19. Rybalchenko MV. The spread of "swiss style" in the suburban architecture of Saint Petersburg. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov = Bulletin of civil engineers*. 2022;2(91):15-23. (In Russ.). <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2022-19-2-15-23>.
20. Trofimova NYu, Tsvetaeva MN. Philosophy of the Historical and Cultural Space of St. Petersburg: the example of the Heritage of the Kamenny and Elagin Islands. *Khristianskoe chtenie = Christian Reading*. 2020;5:124-132. (In Russ.). https://doi.org/10.47132/1814-5574_2020_5_124.
21. Kozyreva EA, Golubina MD. Nearby estates of the highest nobility, as a phenomenon of historical and urban planning of St. Petersburg, on the example of K.E. Sivers. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya*. 2019;46(3):89-92. (In Russ.). <https://doi.org/10.18411/lj-01-2019-66>.
22. Petrashen EP, Speranskaya VS. Problems and methods of the architectural heritage's preservation. Complex "Dacha Benois" in Peterhof. *Naukosfera*. 2021;2-2:6-11. (In Russ.). <http://doi.org/10.5281/zenodo.4564553>.
23. Donya DS. Cultural heritage preservation in Saint Petersburg suburban area. *Molodezhnyi vestnik Sankt-Peterburgskogo gos. instituta kul'tury*. 2018;2(10):13-16. (In Russ.).
24. Tereshina SA. Modern architecture and typology of summer cottages (on the example of Rostov-on-Don). *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta = Journal of Construction and Architecture*. 2019;3:86-98. (In Russ.).

Russ.). <http://doi.org/10.31675/1607-1859-2019-21-3-86-98>.
25. Granstrem M, Zolotareva M. Architectural and urban planning evolution of the industrial area near Moskovskaya Zastava in Saint Petersburg. *E3S Web of Conferences*. 2021;274:01031. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127401031>.
26. Lavrov L, Perov F. Evolution of the imperial residence and urban development of the St. Petersburg center. *Architecture and Engineering*. 2019;4(1):11-22. <https://doi.org/10.23968/2500-0055-2019-4-1-11-22>.
27. Mantey D, Sudra P. Types of suburbs in post-socialist Poland and their potential for creating public spaces. *Cities*. 2019;88:209-221. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2018.11.001>.
28. Garcia-Ayllon S. Urban transformations as indicators of economic change in post-communist Eastern Europe: Territorial diagnosis through five case studies. *Habitat International*. 2018;71:29-37.
29. Swensen G. Between romantic historic landscapes, rational management models and

obliterations – urban cemeteries as green memory sites. *Urban Forestry and Urban Greening*. 2018;33:58-65. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.04.013>.
30. Landsman D, Kats P, Nenko A, Sobolevsky S. Zoning of St. Petersburg through the prism of social activity networks. *Procedia Computer Science*. 2020;178:125-133. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.11.014>.
31. Beumer C. Show me your garden and I will tell you how sustainable you are: Dutch citizens' perspectives on conserving biodiversity and promoting a sustainable urban living environment through domestic gardening. *Urban Forestry and Urban Greening*. 2018;30:260-279. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.09.010>.
32. Gargiulo C, Sgambati S. Active mobility in historical centres: towards an accessible and competitive city. *Transportation Research Procedia*. 2022;60:552-559. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.12.071>.

Информация об авторе

О. И. Черных,
кандидат архитектуры, доцент,
доцент кафедры рисунка, живописи, основ
проектирования и историко-архитектурного
наследия,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
<https://orcid.org/0000-0003-1677-2710>

Information about the author

Olga I. Chernykh,
Cand. of Architecture, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of
Drawing, Design and Architectural History,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,
<https://orcid.org/0000-0003-1677-2710>

Вклад автора

Черных О. И. провела исследование, подгото-
вила рукопись к печати и несет ответственность
за плагиат.

Contribution of the author

Chernykh O. I. has conducted the study, prepared
the manuscript for publication and bears the
responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта
интересов.

Conflict of interests

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

Автор прочитал и одобрил окончательный
вариант рукописи.

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

Статья поступила в редакцию 01.06.2022.
Одобрена после рецензирования 23.06.2022.
Принята к публикации 27.06.2022.

The article was submitted 01.06.2022.
Approved after reviewing 23.06.2022.
Accepted for publication 27.06.2022.

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

Мы приглашаем Вас к участию в нашем журнале в качестве авторов, рекламодателей, читателей и сообщаем требования к статьям, принимаемым к публикации.

Журнал «Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость» публикует научные статьи и обзоры российских и зарубежных ученых, в том числе докторантов и аспирантов, содержащие новые результаты научных исследований.

Тематический охват соответствует утвержденной номенклатуре научных специальностей:

- 2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки);
- 2.1.2. Основания и фундаменты, подземные сооружения (технические науки);
- 2.1.3. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение (технические науки);
- 2.1.4. Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов (технические науки);
- 2.1.5. Строительные материалы и изделия (технические науки);
- 2.1.7. Технология и организация строительства (технические науки);
- 2.1.8. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей (технические науки);
- 2.1.9. Строительная механика (технические науки);
- 2.1.10. Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства (технические науки);
- 2.1.11. Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия (архитектура);
- 2.1.12. Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности (архитектура);
- 2.1.13. Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов (архитектура);
- 08.00.05 – Экономика и управление народным хозяйством: экономика, организация, управление предприятиями, отраслями, комплексами (строительство), управление инновациями, региональная экономика (экономические науки) (РИНЦ).

Представляемая в журнал работа должна быть законченным научным исследованием и содержать новые научные результаты, нигде ранее не публиковавшиеся и не представленные к публикации в других изданиях.

Статьи должны быть выполнены на высоком научном уровне и содержать результаты исследований по соответствующей проблематике. Рукопись, присылаемая в редакцию, должна соответствовать тематике журнала и требованиям редакции к оформлению рукописей.

1. Материалы, представляемые авторами в редакцию:

- Статья в печатном виде и идентичном варианте в электронной форме (с расширением *.doc и *.pdf);
- Иллюстрации к статье (рисунки, графики и т.д.) в электронном виде (в формате jpg);
- Авторское заявление;
- Сопроводительное письмо;
- Договор;
- Экспертное заключение.

2. Рукопись должна быть построена следующим образом:

- **Шифр УДК;**
- **Название статьи;**
- **Информация об авторах:** фамилия, имя, отчество; название учреждения;
- **Реферат (аннотация)** – количество слов – 200;
- **Ключевые слова** – (4–6);
- **Библиографические ссылки** должны быть соответственно оформлены:

1 вариант: Библиографический список – приводится русскоязычный вариант вместе с зарубежными источниками. Оформляется согласно ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления». Ссылки на электронные документы должны оформляться согласно ГОСТ 7.82-2001 «Библиографическая запись. Библиографическое описание электронных ресурсов». Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

2 вариант: *References* (для зарубежных баз данных) – приводится полностью отдельным блоком, повторяя список литературы к русскоязычной части, независимо от того, имеются или нет в нем иностранные источники. Если в списке есть ссылки на иностранные публикации, то они полностью повторяются в списке, готовящемся в романском алфавите.

В статье должны быть ссылки на иностранные источники, изданные не ранее, чем за последние 5 лет, свидетельствующие о том, что автором изучен вклад ученых разных стран в исследование проблемы.

- **Критерии авторства, конфликт интересов;**
- **Сведения об авторах:** фамилия, имя, отчество (полностью); ученая степень, звание и должность; название учреждения, его адрес с индексом; e-mail; ORCID.
- **Название рубрики**, в которой должна быть размещена статья.

3. Рекомендации по набору и оформлению текста

Параметры страницы и абзаца: отступы сверху и снизу – 2 см; слева и справа – 2 см; табуляция – 0,6 см; ориентация – книжная;

Шрифт – Arial, размер – 10, межстрочный интервал – одинарный, перенос слов – автоматический.

При вставке формул использовать *Microsoft Equation 3* при установках: элементы формулы выполняются – курсивом; для греческих букв и символов назначать шрифт Symbol, для остальных элементов – Arial.

Размер символов: обычный – 12 пт, крупный индекс – 7 пт, мелкий индекс – 5 пт, крупный символ – 18 пт, мелкий символ – 12 пт. Все экспликации элементов формул необходимо также выполнять в виде формул.

Рисунки, вставленные в текст, должны быть выполнены с разрешением 300 dpi, B&W – для черно-белых иллюстраций, Grayscale – для полутонов, максимальный размер рисунка с надписью: ширина 170 мм, высота 245 мм. Рисунки должны быть представлены в виде файла с расширением *.BMP, *.TIFF, *.JPG, должны допускать перемещение в тексте и возможность изменения размеров. Схемы, графики выполняются во встроенной программе MS Word или в MS Excel, с приложением файлов.

Для построения графиков и диаграмм следует использовать программу *Microsoft Office Excel*. Каждый рисунок вставляется в текст как объект *Microsoft Office Excel*.

Внимание! Публикация статьи является бесплатной.

Статьи направляются в редакцию журнала по электронной почте izv_isn@istu.edu. Рукописи статей и оригиналы всех необходимых документов предоставляются по адресу: 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, редакционный отдел, ауд. Д-215, Никишиной О.В.

Телефон: (3952) 40-56-11, с.т.: 8 964 656 46 70 – Никишина Ольга Валерьевна, ответственный за выпуск,
(3952) 40-54-92 – Герасимова Юлия Александровна, редактор.

ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ
ИНВЕСТИЦИИ. СТРОИТЕЛЬСТВО. НЕДВИЖИМОСТЬ

Научный журнал

12+

Том 12 № 3 (42)

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 30.09.2022. Формат 60 x 90 / 8 (А4).
Бумага офсетная. Печать цифровая. Усл. печ. л. 21,00.
Тираж 500 экз. Зак. 117. Поз. плана бн.

Издание распространяется бесплатно

ФГБОУ ВО "Иркутский национальный исследовательский технический университет"
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

Отпечатано в типографии Издательства
ФГБОУ ВО "Иркутский национальный исследовательский технический университет"
Адрес типографии: 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83А



ВЫСШАЯ
АТТЕСТАЦИОННАЯ КОМИССИЯ (ВАК)
Министерства образования и науки Российской Федерации



РОССИЙСКИЙ ИНДЕКС
НАУЧНОГО ЦИТИРОВАНИЯ
Science Index



CYBERLENINKA

OPEN  ACCESS



INDEX  COPERNICUS
INTERNATIONAL

Google Scholar



АНРИ

Ассоциация научных
редакторов и издателей

