

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

12+



IZVESTIYA VUZOV
Investitsii
Stroitelstvo
Nedvizhimost

ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ
ИНВЕСТИЦИИ
СТРОИТЕЛЬСТВО
НЕДВИЖИМОСТЬ

Том 14 № 1
2024

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

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION OF THE RUSSIAN FEDERATION



ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

IRKUTSK NATIONAL RESEARCH TECHNICAL UNIVERSITY

ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ. ИНВЕСТИЦИИ. СТРОИТЕЛЬСТВО. НЕДВИЖИМОСТЬ

PROCEEDINGS OF UNIVERSITIES
INVESTMENT. CONSTRUCTION. REAL ESTATE

Izvestiya vuzov
Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost

Том 14 № 1
Vol.



ИЗДАТЕЛЬСТВО
Иркутского национального исследовательского
технического университета

PUBLISHERS
of Irkutsk National Research Technical University
2024



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

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

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

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

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

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

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

Учредитель-издатель:

ФГБОУ ВО Иркутский национальный исследовательский технический университет

Подписной индекс в ООО «Урал-Пресс» - 41511

Адрес ООО «Урал-Пресс»:

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

Адрес учредителя, издателя и редакции:

664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

e-mail: izv_isn@istu.edu

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Founder, publisher: FSBEIHE Irkutsk National Research Technical University

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

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

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

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

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

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

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

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

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

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

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

Даваасурэн Авирмэд, доктор экономических наук, профессор, заведующий отделом регионоведения и многосторонних взаимодействий Института иностранных последований Академии Наук Монголии (г. Улан-Батор, Монголия)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

EDITORIAL BOARD

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

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

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

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

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

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

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

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

Davaasuren Avirmed, Doctor of Economics, Professor, Head of the Department of Regional Studies and Multilateral Interactions of the Institute of Foreign Studies of the Academy of Sciences of Mongolia (Ulan Bator, Mongolia)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

Известия вузов
Инвестиции. Строительство. Недвижимость

Том 14 № 1 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

- Пешков В.В., Кудрявцева В.А., Никишина О.В.** Механизм комплексного развития территорий как базовый ресурс для развития регионального жилищного строительства 10

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. СТРОИТЕЛЬСТВО

- Алексеев В.В., Гонжитов А.Б., Бугдаев С.П.** Влияние состава на физико-механические характеристики модифицированных ПВХ 20
- Аюрова О.Б., Бадашкева Е.М., Цыбенова А.Б., Цыбенов В.Б., Танков В.И.** Разработка мероприятий по модернизации системы отопления учебного корпуса №7 ВСГУТУ и оценка экономической эффективности 30
- Баранова А.А., Егоров Е.В.** Воздействие высоких температур на физико-механические характеристики автоклавного газобетона 46
- Гребнева О.А., Лавыгина О.Л.** Исследование индекса качества городской среды для жилых микрорайонов г. Иркутска 56
- Королёк А.В., Матвеева М.В., Пешков А.В.** Организации жилищного строительства: практические аспекты цифровой интеллектуальной поддержки (на примере ЖК «Авиатор», г. Иркутск) 70
- Паскачев А.Б., Ржевская Т.Г., Стельмах С.А., Щербань Е.М., Маилян Л.Д., Маилян А.Л.** Сравнение эффективности модификации микрокремнеземом облегченных бетонов на крупных заполнителях из различных горных пород 82
- Продоус О.А., Шлычков Д.И., Челоненко А.Г.** Классификация состояния канализационных сетей по толщине слоя осадка в лотковой части труб 96
- Цховребов Э.С., Ниязгулов У.Д., Сергеев Е.Б., Прус Ю.В.** Мониторинг влияния антропогенных факторов функционирования городского хозяйства на возникновение наводнений и подтоплений 105
- Чуйкин С.В., Куцыгина О.А.** Теоретическое обоснование выбора технических решений систем обеспечения микроклимата крытых катков 119
- Чупин В.Р., Мороз М.В.** Расчет безнапорных систем канализации с учетом неравномерности поступления сточных вод от абонентов 133
- Ярыгин Р.Н., Чупин Р.В., Мелехов Е.С.** Минимизация рисков при разработке перспективных схем водоснабжения и водоотведения 149

АРХИТЕКТУРА. ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. ДИЗАЙН

- Бобрышев Д.В., Усачева В.В.** Градостроительные факторы устойчивого развития территориальной рекреационной системы Нижнеудинского района Иркутской области 161
- Гришина М.П., Михайлова А.Е.** Модель современного лечебно-оздоровительного комплекса «Кайласу» в пос. Корфовский в Хабаровском крае 172
- Дружинина И.Е.** Советская промышленная архитектура Н.И. Бойкова начала XX века 183
- Селиванов Р.А.** Модель достопримечательного места центральной части г. Иркутска как основа интеграции застройки в историческом городе. Периодизация этапов формирования. Современное состояние 200
- Хадеев М.Б.** Влияние технических регламентов безопасности на формообразование в архитектуре в РФ на примере дома «Горы» (The Mountain) / бюро BIG, Дания 216

CONTENTS

Proceedings of Universities Investment. Construction. Real estate

Том 14 № 1 2024

CONTENTS

ECONOMICS AND MANAGEMENT

- Peshkov V.V., Kudryavtseva V.A., Nikishina O.V.** Mechanism of integrated territorial development as a basic resource for promoting regional housing construction 10

TECHNICAL SCIENCES. CONSTRUCTION

- Alekseenko V.V., Gonzhitov A.B., Bugdaev S.P.** Influence of composition on physical and mechanical properties of modified PVC 20
- Ayurova O.B., Badashkeeva E.M., Tsybenova A.B., Tsybenov V.B., Tankov V.I.** Development of measures to modernize the heating system in ESSUTM academic building No. 7 and evaluation of economic efficiency 30
- Baranova A.A., Egorov E.V.** Effects of high temperatures on physico-mechanical characteristics of autoclaved aerated concrete 46
- Grebneva O.A., Lavygina O.L.** Study of the urban environment quality index for Irkutsk residential districts 56
- Korolek A.V., Matveeva M.V., Peshkov A.V.** Housing construction management: practical aspects of digital intelligent support (on the example of the Aviator housing development, Irkutsk) 70
- Paskachev A.B., Rzhetskaya T.G., Stel'makh S.A., Shcherban' E.M., Mailyan L.D., Mailyan A.L.** Comparison of the effectiveness of microsilica modification of lightweight concretes with coarse aggregates from various rocks 82
- Prodous O.A., Shlychkov D.I., Chelonenko A.G.** Condition classification of sewerage systems according to the deposit layer thickness in the bench part of pipes 96
- Tshovrebov E.S., Niyazgulov U.D., Sergeev E.B., Prus Yu.V.** Monitoring of effects, caused by the anthropogenic factors of the municipal economy functioning, on the occurrence of floods and ground-water flooding 105
- Chuykin S.V., Kutsygina O.A.** Theoretical justification for the choice of technical solutions for microclimate support systems of indoor ice rinks 119
- Chupin V.R., Moroz M.V.** Calculation for non-pressure sewage systems taking into account the irregularity of wastewater inflow from subscribers 133
- Yarygin R.N., Chupin R.V., Melekhov E.S.** Minimizing risks in the development of prospective water supply and wastewater discharge schemes 149

ARCHITECTURE. URBAN CONSTRUCTION. DESIGN

- Bobryshev D.V., Usacheva V.V.** Urban planning factors in sustainable development of the territorial recreational system in Nizhneudinsky District of Irkutsk Oblast 161
- Grishina M.P., Mikhailova A.E.** A model of the modern medical and recreational complex Kailasu in the settlement of Korfovsky in Khabarovsk Krai 172
- Druzhinina I.E.** Soviet industrial architecture projects by Nikolay Boykov from the early 20th century 183
- Selivanov R.A.** Model of a sightseeing attraction in the central part of Irkutsk as the basis for the integration of development in a historical city. Periodization of the formation stages. The current state 200
- Khadeev M.B.** Effect of Technical Safety Regulations on Form-Making in Russian Architecture on the Example of the Mountain Dwellings by BIG in Denmark 216



Механизм комплексного развития территорий как базовый ресурс для развития регионального жилищного строительства

В.В. Пешков¹, В.А. Кудрявцева^{2✉}, О.В. Никишина³

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

Аннотация. Статья посвящена программе «Комплексное развитие территории». Обозначена роль данной программы в развитии регионального жилищного строительства. Также представлен уникальный механизм комплексного развития территорий, который включает в себя множество возможностей для качественного изменения городских пространств, в том числе и обновление городской застройки. Данная программа позволяет одновременно достичь нескольких положительных эффектов: во-первых, обеспечивает сбалансированное и устойчивое развитие города, во-вторых, создает необходимые условия для развития транспортной, социальной и инженерной инфраструктур, в-третьих, способствует привлечению частного финансирования для решения проблемы расселения аварийного и ветхого жилищного фонда. Так как на сегодняшний день стратегической задачей в сфере строительного рынка является обеспечение обновления старого жилого фонда на тот, который будет соответствовать новым технологическим требованиям. Реализация данной программы создаст условия для роста капитализации недвижимости на преобразованных территориях и принесет значительные выгоды как для региона, так и для страны в целом.

Ключевые слова: комплексное развитие территорий, жилищное строительство, строительная отрасль, комфортная среда, ветхий и аварийный фонд жилья, городская среда, развитие территории

Для цитирования: Пешков В.В., Кудрявцева В.А., Никишина О.В. Механизм комплексного развития территорий как базовый ресурс для развития регионального жилищного строительства // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 1. С. 10–19. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-1-10-19>. EDN: UINEZA.

Original article

Mechanism of integrated territorial development as a basic resource for promoting regional housing construction

Vitaly V. Peshkov¹, Vera A. Kudryavtseva^{2✉}, Olga V. Nikishina³

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

Abstract. The article considers the program *Integrated Territorial Development* and defines its role in developing regional housing construction. The study also presents a unique mechanism for integrated territorial development which provides many opportunities for qualitative changes in urban spaces, including urban fabric renewal. This program provides an opportunity to simultaneously achieve several beneficial effects. Firstly, it ensures balanced and sustainable urban development. Secondly, it creates necessary conditions for transport, social, and engineering infrastructure development. Thirdly, the program helps to attract private financing to solve the problem of rehousing residents from substandard and dilapidated housing stock since today the strategic task in the construction market is to ensure the renewal of the old housing stock to such that will meet new technological requirements. This program implementation will create conditions for the growth of real estate capitalization in the transformed territories and will bring substantial benefits for both the region and the entire country.

Keywords: integrated development of territories, housing construction, construction industry, comfortable environment, dilapidated and emergency housing stock, urban environment, territory development

For citation: Peshkov V.V., Kudryavtseva V.A., Nikishina O.V. Mechanism of integrated territorial development as a basic resource for promoting regional housing construction. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(1):10-19. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-1-10-19>. EDN: UINEZA.

ВВЕДЕНИЕ

Требования, предъявляемые сегодняшними жителями к современным городам, выявили достаточной большой пласт проблем, к которым можно отнести наличие достаточно большого количества ветхого и аварийного жилья на рынке недвижимости, высокие показатели по изношенности инженерных сетей, существующая коммунальная, транспортная, инженерная, социальная инфраструктура не соответствует современным требованиям по формированию качественной городской среды, ограниченность объемов бюджетного финансирования субъектов федерации, выделяемых на благоустройство городской среды, максимальное уплотнение существующей застройки в границах существующей территориальной планировки, осуществляющейся без учета индивидуальных и общественных потребностей городских жителей. Вместе с тем, нельзя не отметить, что большинство крупных российских городов имеют схожие проблемы в области территориального планирования – это и недостаточное количество свободных земельных участков под строительство, и ограничение в возможностях расширения масштабов жилищного строительства, что обусловлено законсервированностью исторической части городов, завершившимися в период постиндустриализации процессами реновации для промышленных зон или возникающим экологическими и транспортными проблемами при увеличении плотности строительства в ближнем пригороде. Следовательно, затрудняется реализация большинства таких национальных проектов, как «Жилье и городская среда», «Формирование комфортной городской среды». Это касается и государственных программ, к которым можно отнести «Обеспечение доступным и комфортным жильем и коммунальными услугами граждан Российской Федерации», «Программы переселения граждан из ветхого и аварийного фонда жилья». Вместе с тем, один только нацпроект «Жилье» предусматривает значительное увеличение объемов жилищного строительства: согласно паспорту анализируемого проекта, планируется к возведению не менее 120 млн м² в год к 2030 г., при этом отмечается, что новым будет являться каждый пятый квадратный метр. В целом в 10-летней перспективе планируется введение порядка 1 млрд м² жилья.

В связи с этим целью статьи является анализ существующих проблем в области эффективного использования городских территорий и выявление факторов, способствующих на основе системного подхода позволить комплексно подойти к освоению городских территорий в современных условиях.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

До недавнего времени во всех российских городах возведение жилищных объектов осуществлялось посредством точечной (уплотненной) застройки, потребность в которой продиктована в большей степени заинтересованностью участников строительства в максимальной доходности от реализации проектов.

В целом, точечная застройка давно является объектом изучения и анализа известных ученых России. Например, в своем исследовании доктор юридических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации (РФ) В.В. Залесский отмечает, что «...потребность в точечной застройке не оправдана интересами граждан и, прежде всего, проистекает из стремления инвестора (строительной фирмы) получить дополнительную прибыль – не надо расходовать средства на коммуникации (водоснабжение, энергообеспечение), имеется облегченный доступ на строительную площадку» [5].

Ведущие исследователи отмечают, что «...уплотнительная застройка нередко сопровождается ухудшением качества проживания для жителей прилегающих к строительству домов и, как следствие, конфликтами с застройщиком».

Потребность такого строительства вызвана только стремлением инвестора получить дополнительную прибыль» [8]. По состоянию на сегодняшний день власти большинства российских регионов постепенно вводят запреты на строительство жилья, не обеспеченного социальной инфраструктурой, отдавая предпочтение комплексному подходу. Сейчас застройщики, функционирующие в условиях развитой конкурентной среды, стремятся расширять аудиторию потенциальных покупателей квартир и предлагают не просто качественные жилые комплексы, но оснащенные инфраструктурными и общественными пространствами, например, интерактивными инсталляциями, балетными школами, музеями,

игровыми площадками для детей всех возрастов, ландшафтными парками и т. д.

Вместе с тем, к сожалению, можно констатировать, что присутствие на рынке жилищного строительства развитой конкурентной среды характерно не для всех регионов РФ. К таким территориальным единицам, наименее привлекательным для застройщиков с точки зрения инвестирования, можно отнести, например, областные города или региональные центры, в которых основной объем жилищного фонда занимает аварийное или ветхое жилье. Исходя из этого, можно предложить, в качестве одного из направлений урегулирования сложившейся ситуации и достижения поставленных задач, вторичное использование территорий, на которых расположено ветхое и аварийное жилье, подлежащее сносу, т. к. высвободятся новые площади и увеличится территория застройки. Преимуществами от такого варианта использования застроенных территорий будет мультипликативный эффект социально-экономического развития города, а необходимость переселения граждан приведет к стимулированию развития строительной отрасли, поскольку потребуются ввод нового жилищного фонда, что тем самым обеспечит эффективную реализацию национальных проектов. Вместе с тем, нельзя не выделить, что строительство новых объектов должно вестись параллельно с созданием комплекса инфраструктурных объектов (коммунально-бытовых, социальных, транспортных), отвечающих современным представлениям и требованиям о комфортности горожан. Результатом проведенных мероприятий будет получение горожанами в пределах ограниченной территории современной комфортабельной застройки с наличием полного объема услуг, которые, как правило, присутствуют на территориях городов, реализуемых на традиционных градостроительных концепциях [1].

Именно для таких объектов был разработан и предложен к введению механизм комплексного развития территорий (далее – КРТ), который применяется на основании Федерального закона от 30 декабря 2020 г. № 494-ФЗ «О внесении изменений в Градостроительный кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации в целях обеспечения комплексного развития

территорий», который сейчас начал постепенно внедряться в региональную практику¹. Комплексное развитие территорий представляет собой уникальный механизм, который включает множество возможностей для качественного изменения городских пространств, в том числе обновления городской застройки. Преимуществом является возможность расселять не только дома, находящиеся в аварийном состоянии, но и те здания, которые пока такими не признаны, но имеют высокую степень износа. Безусловно, вопросы совершенствования застроенных территорий городов поддерживаются на государственном уровне, что подтверждается наличием базового правительственного документа «Стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года», в котором определяются экономические возможности социально-экономического развития территорий страны.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Национальными задачами в сфере жилищного строительства предусматривается к 2030 г. строительство 1,2 млрд м² жилья и улучшение качества городской среды в 1,5 раза. Согласно аналитическим данным к 2030 г. необходимо построить как минимум 140 тыс. га². В связи с этим, для достижения обозначенных показателей в 2020 г. Председатель Правительства РФ Михаил Мишустин поручил Росреестру провести анализ и выполнить оценку эффективности использования земельных участков для определения возможности их вовлечения в жилищное строительство. В результате проведенной работы были выявлены незастроенные участки и территории, которые можно быстро вовлечь в оборот. Сведения о таких объектах будут предоставляться гражданам и предпринимателям в рамках функционирования сервиса «Земля для стройки». Росреестром уже внедрена в практику технология по отображению таких земель на Публичной кадастровой карте [3, 4]. В основу проведенной работы легло достижение целевого показателя национального проекта «Жилье и городская среда», что позволило в результате оценки выявить более 5,7 тыс. земельных участков и территорий неэффективно используемых земель площадью около 104 тыс. га. в 750 населенных пунктах.

¹Российская Федерация. Законы. О внесении изменений в Градостроительный кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации в целях обеспечения комплексного развития территорий: Федеральный закон № 494-ФЗ: [принят Государственной Думой 23 декабря 2020 года: одобрен Советом Федерации 25 декабря 2020 года]. Москва, 2020.

²Федорченко М.В. Повышение инвестиционной привлекательности и эффективности реализации проектов комплексного развития территорий. Режим доступа: https://no-stroy.ru/news_files/2021/10/06/003_Fedorchenko.pdf (no-stroy.ru) (дата обращения: 24.01.2024).

По экспертным оценкам это позволит построить порядка 310 млн м² жилья. Исходя из этих планируемых показателей и тех проблем, которые существуют на строительном рынке крупных российских городов был необходим кардинально новый подход в градостроительном развитии регионов России. Одним из базовых шагов в этом направлении стал закон о механизме комплексного развития территорий, который был подписан Президентом РФ Путиным В.В. еще в конце 2020 г. и который ориентирован на максимальное привлечение внебюджетных средств для обновления городской застройки.

Комплексное развитие территорий как одно из направлений эффективного развития застроенных территорий позволит решить несколько актуальных задач:

- наращивание масштабов ввода в эксплуатацию нового жилья (более 100 миллионов м² жилья по плану);
- снижение численности населения, нуждающегося в переселении;

– сокращение доли ветхого и аварийного жилья в общем объеме городского жилищного фонда;

– обязательное параллельное строительство объектов, относящихся к социальной сфере: школ, поликлиник, дошкольных учреждений; объектов спорта и отдыха; разбивка на территориях парков, скверов, размещение спортивных площадок и объектов общественной безопасности, таких как станции скорой помощи, пожарное депо, отделы полиции;

– реализация пункта «Города больших возможностей и возрождение малых форм расселения» в перечне из 42 инициатив социально-экономического развития России до 2030 г.³. На рис. 1. представлена схема задач, стоящих перед проектом комплексного развития территорий, достижение которых приведет не только к эффективному развитию городов в целом, но и позволит достичь базовые цели национальных проектов и федеральных программ.

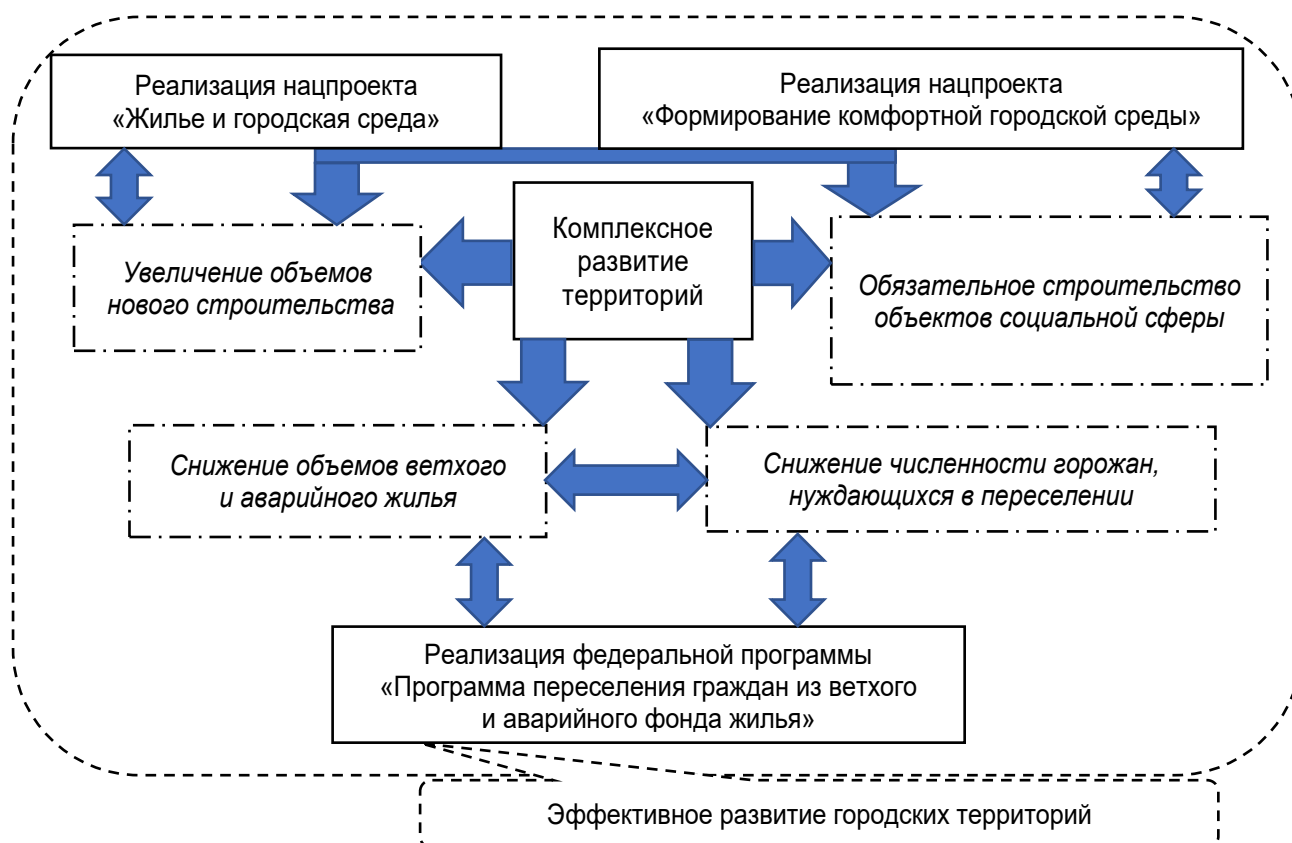


Рис. 1. Схема зависимости достижения целей национальных проектов и федеральных программ от реализации проектов комплексного подхода городских территорий
Fig. 1. The scheme of dependence of the achievement of the goals of national projects and federal programs on the implementation of projects of an integrated approach to urban areas

³Указ Президента Российской Федерации «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года»: введ. в действие с 21.07.20.

На сегодняшний день КРТ является одним из ключевых направлений градостроительного развития регионов РФ, которое осуществляется для повышения эффективности использования территорий, создания необходимых условий для развития инфраструктуры, расселения аварийного жилья, обновления застроенных территорий [6, 7].

Согласно ч. 1 ст. 65 Градостроительного кодекса РФ, принято четыре основных вида комплексного развития территории (рис. 2):

1. КРТ жилой застройки.

Территория для развития включает в свои границы один/несколько элементов планировочной структуры, их части, в которых расположены аварийные/ветхие/неблагоустроенные многоквартирные дома (ч. 2 ст. 65 ГрК РФ).

2. КРТ нежилой застройки. На территории нет многоквартирных домов, зато есть аварийные/ветхие нежилые здания и объекты, в том числе самострой (ч. 4 ст. 65 ГрК РФ)⁴.

3. КРТ незастроенной территории. В границы территории включены земельные участки, в том числе с расположенными на них зданиями, которые находятся в государственной либо муниципальной собственности, без обременения правами иных лиц.

4. КРТ по инициативе правообладателей. Такой проект проводится по инициативе правообладателей земельных участков и/или расположенных на них объектов недвижимости, т. е. по желанию собственников земли/зданий. Следовательно, собственники помещений в многоквартирных домах и управляющие организации могут столкнуться с первым видом комплексного развития территории. В проект иного КРТ их дом включен быть не может [6,12]⁵.

В настоящее время в 72 субъектах РФ в активной стадии реализации механизма КРТ 562 территории площадью 14,5 тыс. га с градостроительным потенциалом 98 млн м², в том числе жилой – 71 млн м².

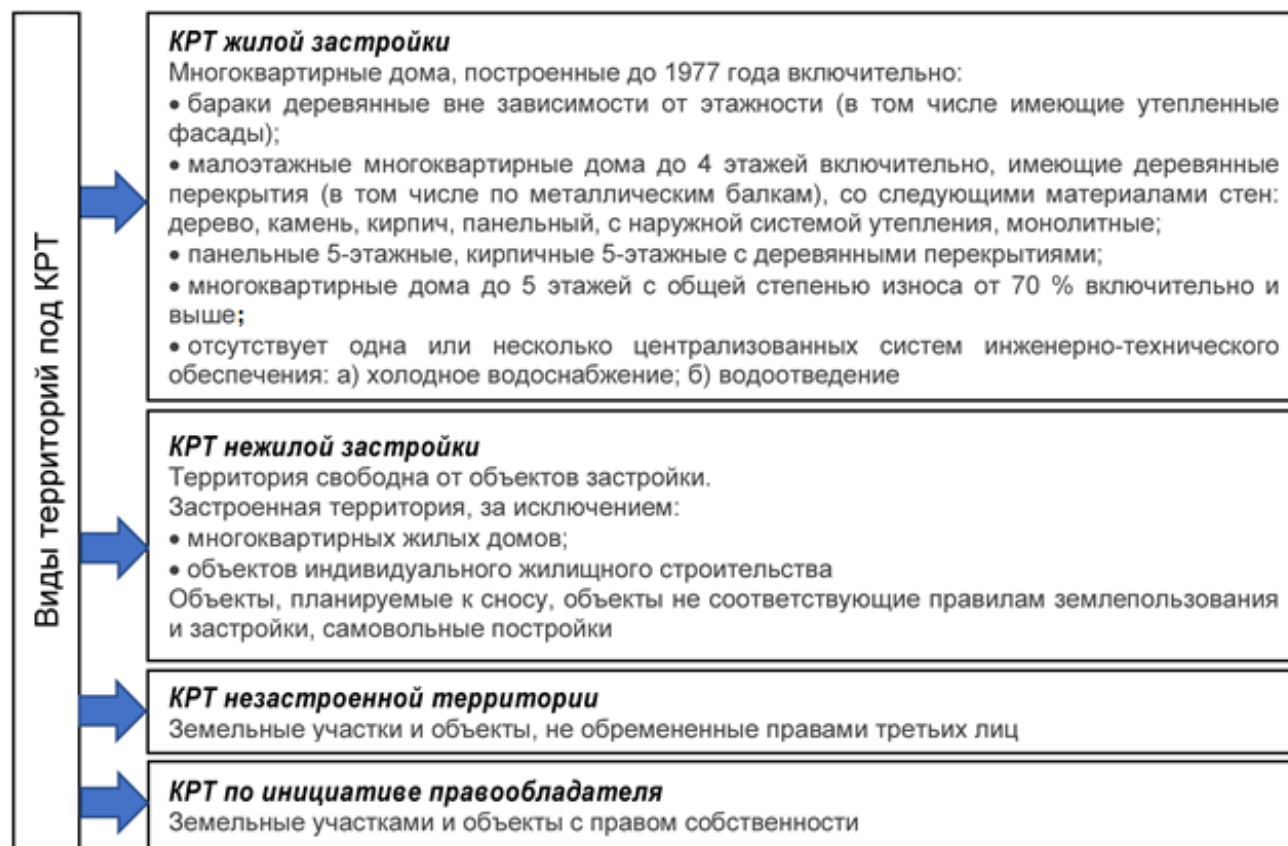


Рис. 2. Виды территорий под КРТ
Fig. 2. Types of territories under the IDT

⁴Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 №190-ФЗ (ред. От 25.12.2023) // СПС «КонсультантПлюс». Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/?ysclid=ltz7pp2knu565640205 (дата обращения: 24.01.2024).

⁵РосКвартал® интернет-служба №1 для управляющих организаций. Режим доступа: <https://roskvartal.ru> (дата обращения: 24.01.2024).

Всего в проработке 1127 территорий общей площадью 31,4 тыс. га, в том числе 116 территорий, комплексное развитие которых осуществляется АО «ДОМ.РФ» с градостроительным потенциалом 205 млн м², из них около 149 млн м² жилой площади.

Принято 516 решений о КРТ, в том числе 208 решений о КРТ жилой застройки общей площадью – 13,1 тыс. га с градостроительным потенциалом – 88,2 млн м², из них – 61,3 млн м² жилой площади.

В рамках реализации КРТ жилой застройки расселено 108,9 тыс. м² жилого фонда, в том числе аварийного – 89,7 тыс. м²: улучшены жилищные условия для 6,23 тыс. человек.

По состоянию на 1 февраля 2024 г. ППК «Фонд развития территорий» приняты решения о подтверждении размера суммы финансовой поддержки на реализацию 12 проектов КРТ

в Архангельской, Брянской, Волгоградской, Иркутской, Липецкой, Мурманской, Нижегородской, Томской, Ульяновской, Ярославской области, Республике Марий Эл и Республике Бурятия в размере 1,2 млрд рублей.

В настоящее время в работе АО «ДОМ.РФ» 116 проектов в целях реализации КРТ в 47 субъектах Российской Федерации с общей площадью 5,7 тыс. га с градостроительным потенциалом 21,3 млн м² жилой площади.

На текущий момент АО «ДОМ.РФ» получено согласование в 36 субъектах Российской Федерации по 77 проектам КРТ на земельных участках общей площадью 3,69 тыс. га с градостроительным потенциалом 15,4 млн м².

На рис. 3 представлено количество строящихся или введенных в эксплуатацию домов по программе КРТ по состоянию на февраль 2022 г [9, 10]⁶.

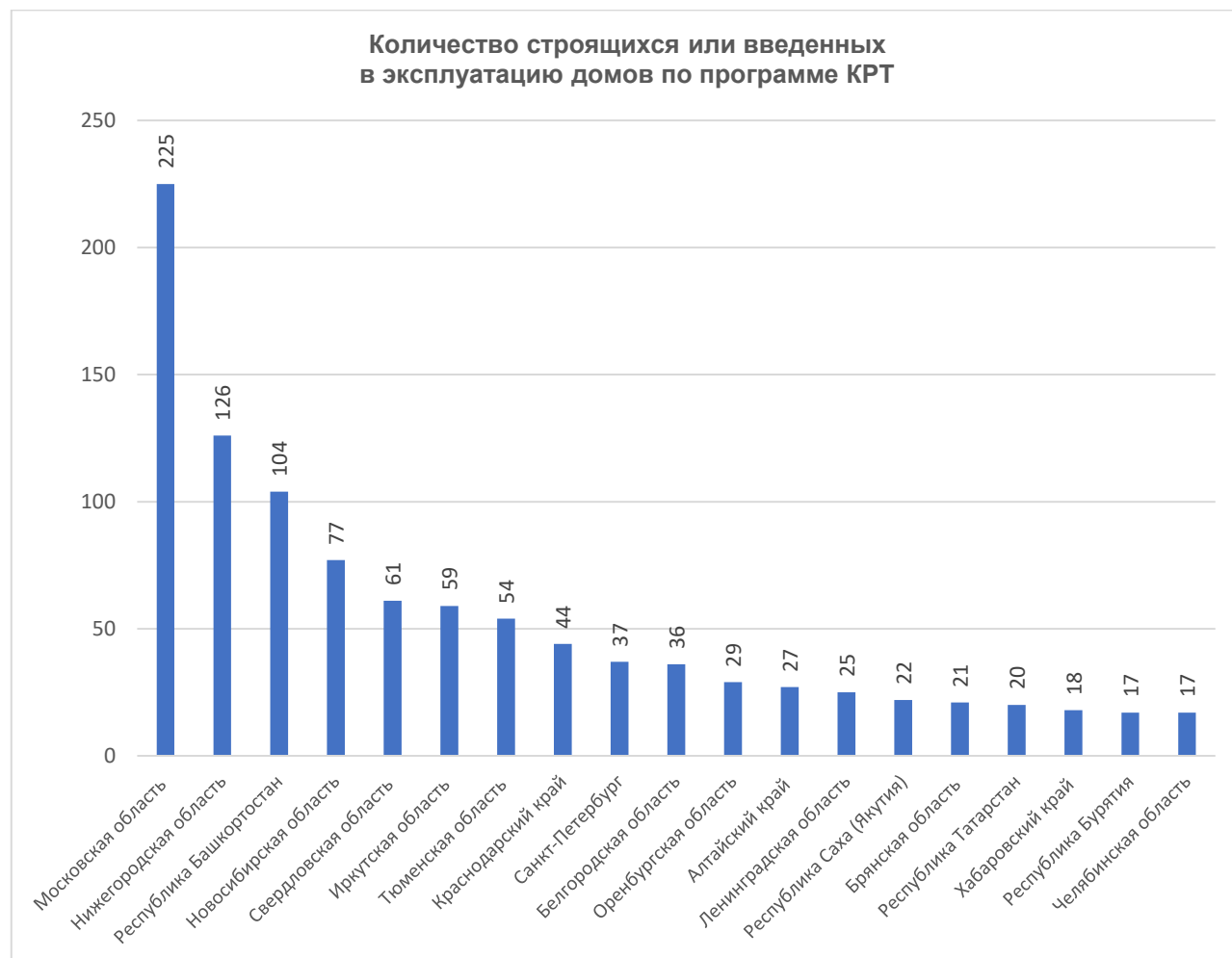


Рис 3. Количество строящихся или введенных в эксплуатацию домов по программе КРТ
Fig. 3. The number of houses under construction or commissioned under the IDT program

⁶Мониторинг практики реализации проектов комплексного развития территории жилой застройки в российских городах. Режим доступа: <https://www.urbanomics.ru> (дата обращения: 24.01.2024).

В контексте современного решения проблем регионального жилищного строительства ориентация на комплексный механизм, а не просто социальное или узконаправленное развитие, позволит одинаково повышать качество жизни и уровень благосостояния жителей и сохранять сбалансированность системы расселения с учетом региональной специфики [2]⁷.

Стоит отметить, что законодательные изменения обеспечили:

- возможность установления субъектами РФ критериев для неаварийных многоквартирных домов в целях включения их в границы территории, подлежащей комплексному развитию;
- создание условий для привлечения внебюджетных источников финансирования обновления застроенных территорий;
- расселение аварийного жилищного фонда и предоставление субсидий на возмещение понесенных расходов по переселению;

– меры поддержки для развития всех видов инфраструктуры;

– упрощенный механизм изъятия объектов капитального строительства и земельных участков;

– создание новых рабочих мест и получение дополнительных налоговых поступлений в бюджет по результатам проводимых торгов;

– сокращение инвестиционно-строительного цикла.

Комплексный подход в решении проблем территорий приведет к синергетическому эффекту на основе взаимосвязанных управленческих и правовых решений, а принятие комплекса мер, направленных на стимулирование инвесторов, граждан и региональных органов власти, должно способствовать более активному внедрению механизма КРТ в практику жилищного строительства [11, 13–15]. На рис. 4. представлены мероприятия, выполнение которых позволит максимально эффективно использовать механизм КРТ при решении задач национальных проектов.

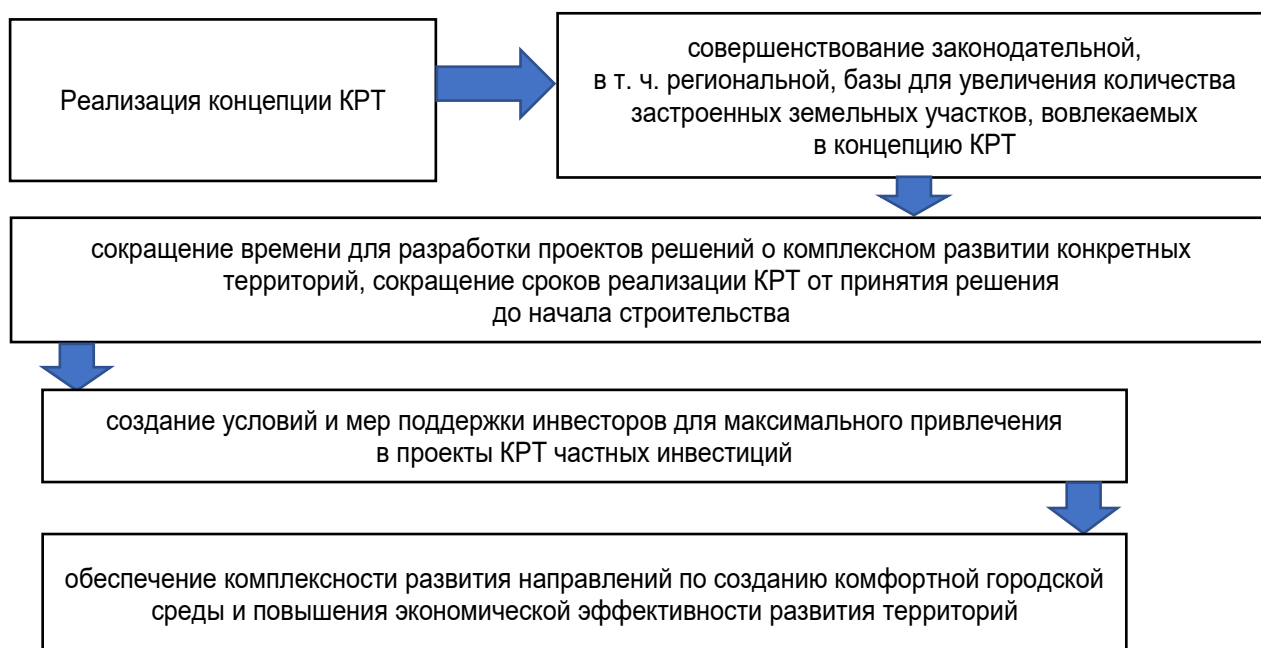


Рис. 4. Направления эффективного использования механизма КРТ
Fig. 4. Directions of effective use of the IDT mechanism

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Максимальное вовлечение в развитие территорий комплексного подхода позволит более всесторонне реализовать возможности российских городов, особенно тех, обустройство которых не осуществлялось с советского периода [17]. Безусловно, комплексное развитие территорий – это масштабный проект, не только с позиции территориального вопроса,

но и с позиции объемов финансирования, времени реализации, опытности и квалификации местного и регионального руководства, наличия гибкого рынка профессиональных застройщиков и т. д. Программа комплексного развития территорий позволит городам достичь одну из базовых национальных целей развития РФ, а именно формирование комфортной и безопасной среды для жизни.

⁷Минстрой России. Режим доступа: <https://minstroyrf.gov.ru> (дата обращения: 24.01.2024).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бабенко С.В. Социально-экономические факторы комплексного освоения территории в регионах России: автореферат дис. ... к.э.н. : 28.11.2013. СПб, 2013. 23 с.
2. Верхорубов С.А., Белоглазова Л.А. Проблемы комплексного развития территорий в контексте агломерационных процессов // Современная экономика: проблемы и решения. 2021. № 10 (142). С. 169–177. <https://doi.org/10.17308/meps.2021.10/2702>. EDN: GSQTQZ.
3. Галиновская Е.А. Использование земельных участков для их комплексного освоения в целях жилищного строительства // Имущественные отношения в Российской Федерации. 2012. № 1 (124). С. 44–49. EDN: ONQMXB.
4. Друева А.А. Комплексное развитие территорий: правовые условия обеспечения // Вестник университета им. О.Е. Кутафина. 2022. № 12 (100). С. 82–90. <https://doi.org/10.17803/2311-5998.2022.100.12.082-090>. EDN: LSMGJP.
5. Залесский В.В. Нужна ли точечная застройка? // Журнал российского права. 2008. № 7 (139). С. 49–56. EDN: NTZQPV.
6. Кирсанов А.Р. Виды комплексного развития территорий // Имущественные отношения в Российской Федерации. 2021. № 4 (235). С. 84–89. EDN: ROZHUK.
7. Кирсанов А.Р. Комплексное развитие территорий: от глобальных планов к конкретным проблемам // Имущественные отношения в Российской Федерации. 2022. № 11 (254). С. 35–42. EDN: QBGXJK.
8. Пешина Э.В., Рыженков А.В. Точечная застройка городов: российский и зарубежный опыт // Известия Уральского государственного экономического университета. 2013. № 5 (49). С. 92–97. EDN: OEENKX.
9. Sternik S.G., Malginov G.N. 2022 Housing Market Trends in Russia // Real Estate: Economics, Management. 2022. Iss. 3. P. 76–84. <https://doi.org/10.22337/2073-8412-2022-3-76-84>. EDN: IRCNYV.
10. Стерник С.Г. Комплексное развитие территорий и экономика регионов // Проблемы прогнозирования. 2023. № 2 (197). С. 57–75. <https://doi.org/10.47711/0868-6351-197-57-75>. EDN: LSMBKA.
11. Федорченко М.В. Время КРТ: как активизировать процесс комплексной реновации городских территорий // Строительная газета. 2023. № 24.
Режим доступа: <https://stroygaz.ru/publication/projection/vremya-krt-kak-aktivizirovat-protsess-kompleksnoy-renovatsii-gorodskikh-territoriy/?ysclid=lu0ojtjer742682421> (дата обращения: 24.01.2024).
12. Саенко И.Ф., Астафьев С.А. Управление сферой жилищного строительства для повышения комфортности проживания населения при формировании проектов комплексного развития территорий: монография. Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2020. 158 с.
13. Maksimov S.N. Integrated development of territories and its bottlenecks // Real Estate: Economics, Management. 2023. № 1. С. 54–58. <https://doi.org/10.22337/2073-8412-2023-1-54-58>. EDN: PWKJZL.
14. Иконникова А.А. К обсуждению КРТ мы совсем скоро вернемся // Тюменский курьер. 2023. № 33. Режим доступа: <https://tm-courier.ru/?s=%D0%BA%D1%80%D1%82> (дата обращения: 24.01.2024).
15. Набиев Р.А., Зверев В.В., Иглина Н.А. Методические подходы к управлению проектами развития территории на основе комплексной жилой застройки // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Экономика. 2020. № 1. С. 61–67. <https://doi.org/10.24143/2073-5537-2020-1-61-67>. EDN: ASFFQV.
16. Кирсанов А.Р. Виды комплексного развития территорий // Имущественные отношения в Российской Федерации. 2021. № 4 (235). С. 84–89. EDN: ROZHUK.
17. Хуторенко А.В., Капец Л.А., Пруцакова Ю.И., Чубарова К.В. Основы комплексного развития городских территорий. концепция устойчивого развития // Архитектура и градостроительство, дизайн и изобразительное искусство – 2021: теория и история, художественное творчество и проекты. Сб. трудов юбилейной Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 20-летию первого выпуска высшей архитектурно-дизайнерской школы на Алтае (г. Барнаул, 01–02 декабря 2021 г.). Барнаул, 2022. С. 178–181. EDN: KWGYEI.

REFERENCES

1. Babenko S.V. Socio-economic Factors of Integrated Development of Territory in The Regions of Russia. (In Russ.). Abstract of Ph.D. of Economy. Saint Petersburg, 2013, 23 p.
2. Verhkorubov S.A., Beloglazova L.A. Problem of Integrated Development of Territories in The Context of Agglomeration Processes. *Sovremennaya ekonomika: problemy i resheniya = Modern Economics: Problems and Solutions*. 2021;10(142):169-177. (In Russ.). <https://doi.org/10.17308/meps.2021.10/2702>. EDN: GSQTQZ.
3. Galinovskaya E.A. Use of Land for Their Comprehensive Development for Housing. *Imushchestvennye otnosheniya v Rossiiskoi Federatsii = Property Relations in the Russian Federation*. 2012;1(124):44-49.

(In Russ.). EDN: ONQMXB.

4. Drueva A.A. Integrated Development of the Territory: Legal Conditions for Ensuring. *Vestnik universiteta im. O.E. Kutafina = Courier of Kutafin Moscow State Law University*. 2022;12(100):82-90. (In Russ.). <https://doi.org/10.17803/2311-5998.2022.100.12.082-090>. EDN: LSMGJP.

5. Zaleskii V.V. Is Infill Development Necessary? *Zhurnal rossiiskogo prava = Journal of Russian Law*. 2008;7(139):49-56. (In Russ.). EDN: NTZQPV.

6. Kirsanov A.R. Types of Integrated Development of Territories. *Imushchestvennye otnosheniya v Rossiiskoi Federatsii = Property Relations in the Russian Federation*. 2021;4(235):84-89. (In Russ.). EDN: ROZHUK.

7. Kirsanov A.R. Integrated Development of Territories: From Global Plans to Specific Problems. *Imushchestvennye otnosheniya v Rossiiskoi Federatsii = Property Relations in the Russian Federation*. 2022;11(254):35-42. (In Russ.). EDN: QBGXJK.

8. Peshina E.V., Ryzhenkov A.V. Infill Development of Cities: Foreign and Russian Experience. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta = Journal of New Economy*. 2013;5(49):92-97. (In Russ.). EDN: OEEHKX.

9. Sternik S.G., Malginov G.N. 2022 Housing Market Trends in Russia. *Real Estate: Economics, Management*. 2022;3: 76-84. <https://doi.org/10.22337/2073-8412-2022-3-76-84>. EDN: IRCNYV.

10. Sternik S.G. Integrated Urban Development and Regional Economies. *Problemy prognozirovaniya = Studies on Russian Economic Development*. 2023;2(197):57-75. (In Russ.). <https://doi.org/10.47711/0868-6351-197-57-75>. EDN: LSMBKA.

11. Fedorchenko M.V. Time for The CRT: How to Intensify the Process of Comprehensive Renovation of Urban Areas. *Stroitel'naya gazeta = Construction newspaper*. 2023;24. Available from: <https://stroygaz.ru/publication/projection/vremya-krt-kak-aktivizirovat-protsess-kompleksnoy-renovatsii-gorodskikh-territoriy/?ysclid=lu0ojtjer742682421> [Accessed 20th December 2023]. (In Russ.).

12. Saenko I.F., Astafev S.A. *Management of the Housing Construction Sector to Improve the Living Comfort of the Population When Forming Projects for Integrated Development of Territories: Monograph*. Krasnoyarsk: Siberian Federal University; 2020. 158 p. (In Russ.).

13. Maksimov S.N. Integrated development of territories and its bottlenecks. *Real Estate: Economics, Management*. 2023;1:54-58. <https://doi.org/10.22337/2073-8412-2023-1-54-58>. EDN: PWKJZL.

14. Ikonnikova A.A. We Will Return to Discussing CRT Very Soon. *Tyumen courier*. Available from: <https://tm-courier.ru/?s=%D0%BA%D1%80%D1%82> [Accessed 24th January 2024]. (In Russ.).

15. Nabiev R.A., Zverev V.V., Iglina N.A. Methodological Approaches to Project Management of Territory Exploitation in Terms of Integrated Housing Development. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Ekonomika = Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Economics*. 2020;1:61-67. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-5537-2020-1-61-67>. EDN: ASFFQV.

16. Kirsanov A.R. Types of Integrated Development of Territories. *Imushchestvennye otnosheniya v Rossiiskoi Federatsii = Property Relations in the Russian Federation*. 2021;4(235):84-89. (In Russ.). EDN: ROZHUK.

17. Khutorenko A.V., Kapets L.A., Prutsakova Yu.I., Chubarova K.V. Fundamentals of Integrated Development of Urban Areas. Sustainable Development Concept. In: *Arkhitectura I gradostroitel'stvo, dizain i izobrazitel'noe iskusstvo – 2021: teoriya i istoriya, khudozhestvennoe tvorchestvo i proekty: sbornik trudov yubileinoi Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 20-letiyu pervogo vypuska vysshei arkhitekturno- dizainerskoi shkoly na Altai = Architecture and Urban Planning, Design and Fine Arts – 2021: Theory and History, Artistic Creativity and Projects, a Collection Of Proceedings of the Anniversary International Scientific and Practical Conference Dedicated to the 20th Anniversary of the First Graduating Class of the Higher Architectural and Design School in Altai*. 01–02 December 2021, Barnaul. Barnaul; 2022, p. 178-181. (In Russ.). EDN: KWGYEI.

Информация об авторах

Пешков Виталий Владимирович,

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

Information about the authors

Vitaly V. Peshkov,

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

Кудрявцева Вера Александровна,
к.э.н., доцент,
доцент кафедры экспертизы и управления
недвижимостью,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
✉e-mail: kudravera@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0071-6602>
Author ID: 1027497

Никишина Ольга Валерьевна,
старший преподаватель кафедры
экспертизы и управления недвижимостью,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: olga_nikishina_7@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8485-1229>
Author ID: 504169

Vera A. Kudryavtseva,
Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Real Estate Expertise and Management,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
✉e-mail: kudravera@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0071-6602>
Author ID: 1027497

Olga V. Nikishina,
Senior teacher of the Department
of Real Estate Expertise and Management,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: olga_nikishina_7@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8485-1229>
Author ID: 504169

Вклад авторов

Авторы имеют равные авторские права и несут
равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончатель-
ный вариант рукописи.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 24.01.2024.
Одобрена после рецензирования 30.01.2024.
Принята к публикации 31.01.2024.

Contribution of the authors

The authors have equal author's rights and bears
the responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

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

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

Information about the article

The article was submitted 24.01.2024.
Approved after reviewing 30.01.2024.
Accepted for publication 31.01.2024.



Влияние состава на физико-механические характеристики модифицированных ПВХ

В.В. Алексеенко^{1✉}, А.Б. Гонжитов², С.П. Бугдаев³

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

Аннотация. Целью настоящей работы является создание композиций из поливинилхлорида, используемых в полимерных шлангах, изучение их состава и физико-механических характеристик. Поливинилхлорид является материалом нерастворимым в воде и устойчивым к воздействию слабых кислот, щелочей, спиртов и минеральных масел. Основные характеристики, ограничивающие применение гибких полимерных шлангов, включают упругость при низких температурах и стойкость к перегибам при положительных температурах. Гибкость шланга определяется свойствами пластифицированного поливинилхлорида, включая его максимальное удлинение при разрыве и толщину. Для изучения характеристик модифицированного поливинилхлорида был использован экструдер МиниТПА-100 для создания испытательных образцов. Охлаждение образцов производилось в специальной холодильной камере. Для измерения упругости использовалась стандартная схема растяжения на испытательной машине Instron 5980. Измерения проводились при температурах 20 °С, -40 °С и -50 °С. Исследование составов полимерных композиций проводилось методами экстракции с различными растворителями. Данные исследования позволяют оценить свойства полимерных композитов. Перед испытанием образцы выдерживались при заданных температурах. Скорость деформирования для всех образцов составляла 3 мм/сек. Предложенные лабораторные методики позволяют оценить большинство эксплуатационных характеристик композитов из поливинилхлорида. Полученные результаты свидетельствуют о том, что эксплуатационные характеристики гибких полимерных шлангов можно полностью предсказать на основе лабораторных испытаний материалов, из которых состоит шланг. Также результаты подтверждают перспективность работ по модификации поливинилхлорида с использованием термоэластопластов.

Ключевые слова: полимерные гибкие шланги, модифицированный поливинилхлорид, термоэластопласт, экструдер, полимерные композиты, экструзия

Для цитирования: Алексеенко В.В., Гонжитов А.Б., Бугдаев С.П. Влияние состава на физико-механические характеристики модифицированных ПВХ // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 1. С. 20–29. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-1-20-29>. EDN: YTBJWB.

Original article

Influence of composition on physical and mechanical properties of modified PVC

Viktor V. Alekseenko^{1✉}, Aldar B. Gonzhitov², Stas P. Bugdaev³

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

Abstract. The present article aims to create polyvinyl chloride composites used in polymer hoses, to study their composition, as well as physical and mechanical characteristics. Polyvinyl chloride is a water-insoluble material, resistant to weak acids, alkalis, alcohols, and mineral oils. The main characteristics limiting the use of flexible polymer hoses include elasticity at low temperatures and bending resistance at positive temperatures. Hose flexibility is determined by the properties of plasticized polyvinyl chloride together with its ultimate elongation at break and thickness. To study the properties of modified polyvinyl chloride, a MiniTPA-100 extruder was used to create test samples. The samples were cooled in a special

© Алексеенко В.В., Гонжитов А.Б., Бугдаев С.П., 2024

refrigeration chamber. Elasticity measurements were performed employing a standard tensile testing scheme on an Instron 5980 testing machine. The measurements were taken at 20 °C, -40 °C, and -50 °C. The investigation of the compositions of polymer composites was conducted using extraction methods with various solvents. These studies enable one to evaluate the properties of polymer composites. Before testing, the samples were held at specified temperatures. The strain rate equaled 3 mm/sec for all samples. The proposed laboratory techniques give an opportunity to evaluate most of the performance characteristics of polyvinyl chloride composites. The obtained results indicate that the performance characteristics of flexible polymer hoses can be fully predicted based on laboratory testing of the materials composing the hose. The results also confirm the potential of work on polyvinyl chloride modification using thermoplastic elastomers.

Keywords: polymer flexible hoses, modified polyvinyl chloride, thermoplastic elastomer, extruder, polymer composites, extrusion

For citation: Aleksenko V.V., Gonzhitov A.B., Bugdaev S.P. Influence of composition on physical and mechanical properties of modified PVC. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(1):20-29. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-1-20-29>. EDN: YTBJBW.

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире гибкие полимерные трубы стали неотъемлемой составляющей повседневной жизни, нашли широкое применение в сельском хозяйстве, строительстве и различных секторах промышленности. Среди многочисленных материалов, применяемых для их производства, особое место занимает поливинилхлорид (ПВХ), который обладает рядом преимуществ. Этот материал устойчив к воздействию воды, слабых кислот и щелочей, спиртов и минеральных масел. Он обладает высокой механической прочностью, гибкостью, легким весом и доступной ценой. Характеристики полимерных труб в значительной мере определяются физико-механическими свойствами используемых материалов, а физико-механические свойства полимерных композиций определяются его составом. Наличие в композиции стабилизаторов, пластификаторов, наполнителей, модификаторов ударной прочности влияют на механические характеристики [1–2]. В настоящее время наиболее применимыми пластификаторами при составлении композиций шлангов являются пластификаторы из группы фталатов (ДОФ, ДИНФ) и адипинатов (ДОА, ДИОА) [3]. В жестких композициях ПВХ модификаторы ударной прочности не используют. Для этих материалов соответствующие прочность и ударная прочность могут быть достигнуты подбором ПВХ с высоким молекулярным весом как базового материала в композиции. Для достижения прочности повышают толщину изделия до тех пор, пока не будет достигнуто минимальное значение требуемой прочности. Таким путем поступают при изготовлении труб большого диаметра. Недостаток такой практики –

повышенный расход материала на единицу длины [4–8].

В таких изделиях как трубы или шланги стараются свести к минимуму рельеф поверхности, чтобы избежать концентрации напряжений, которые приводят к возникновению трещин, распространяющихся на всю поверхность изделия в чувствительном к надрезу материале, таком как ПВХ [9]. Гибкость труб зависит от максимального удлинения пластифицированного ПВХ при разрыве и его толщины. Важно, чтобы трубы были достаточно гибкими при низких температурах и сохраняли умеренную гибкость при повышенных. Устойчивость трубы к деформации под воздействием положительного и отрицательного давления во время эксплуатации определяется наличием армирующей спирали [10]. В ходе исследований были изучены прочность и упругость пластифицированного ПВХ, модифицированного различными полимерными добавками и наночастицами [11–15]. Также были рассмотрены возможность модификации жесткого ПВХ с использованием отходов от производства труб. В качестве наночастиц использовались композиты, содержащие 98 % нанотрубок, производимые фирмой OSSiAl, а в качестве термоэластопластов (ТЭП) высокой плотности применялись материалы фирмы ELASTOCOM. Было предположено, что добавка наночастиц может увеличить прочность композитов при высоких температурах, а добавка ТЭП – улучшить гибкость при низких температурах [16, 17].

МЕТОДЫ

Перед проведением испытаний модифицированных ПВХ проводилась идентификация полимерной композиции и анализ зависимости

состава на физико-механические характеристики. Идентификация состава проводилась на пластифицированной части полимерного шланга, т. к. именно его состав в большей степени определяет поведение композиции при различных температурах эксплуатации [17–18].

Механическая прочность ПВХ зависит от количества пластификатора в композиции. Однако молекулярная масса полимера также играет важную роль. При возрастании молекулярной массы наблюдается соответствующее возрастание прочности на растяжение. Это возрастание является линейным относительно характеристической вязкости (ХВ) во всем диапазоне обычных для ПВХ молекулярных масс [19–26].

На низкотемпературные свойства гибких материалов на основе ПВХ больше влияет тип и концентрация пластификатора, чем тип полимера [27, 28].

Однако грамотный выбор полимера может помочь улучшить низкотемпературные свойства композиций из пластифицированного ПВХ. Как и в случае с прочностью на разрыв низкотемпературные характеристики композиций пластифицированного ПВХ могут быть улучшены использованием полимеров большего молекулярного веса [29, 30].

Выделение пластификаторов из полимерной композиции проводилось экстракцией диэтиловым эфиром. Этот метод дает хорошие результаты с мономерными пластификаторами, но при анализе полимерных пластификаторов возникают сложности.

В исследуемых композициях зачастую встречались такие мономерные пластификаторы как диоктилфталат (ДОФ) и ди-(2-этилгексил) адипинат (ДОА). Их содержание в композициях составляло от 40 до 70 частей на 100 частей ПВХ. С увеличением содержания пластификатора уменьшается модуль упругости, что видно по табл. 1. Вместе с пластификатором экстрагируются большинство смазочных добавок и стабилизаторов.

Дальнейшее разделение проводилось экстракцией горячим метанолом, где выделялись остаточные стабилизаторы (стеарат кальция/цинка – их суммарное содержание в композиции 1–3 %) и эмульгаторы.

Нерастворимый остаток растворяли в тетрагидрофуране (ТГФ) с последующим центрифугированием 300 об/мин. Как известно, ПВХ растворяется в ТГФ и переходит в жидкую фазу.

В нерастворимом остатке остаются пигмент и наполнитель. К жидкой фазе приливали метанол, тем самым осаждали ПВХ (ТГФ/метанол 1:2,5 v/v). Фильтрат и остаток сушили при 80 °С

ровно 30 мин.

Для определения физико-механических характеристик модифицированных ПВХ были изготовлены образцы на лабораторном экструдере Мини ТПА-100. Они прошли испытания на растяжение при различных температурах с использованием испытательной машины Instron 5980 с климатической камерой.

Были изготовлены образцы с различными составами:

1. Жесткий ПВХ без добавок.
2. Жесткий ПВХ с добавлением отходов от производства шлангов в количестве 30 % от массы.
3. Пластифицированный ПВХ зимняя модификация без добавок.
4. Пластифицированный ПВХ зимняя модификация с добавлением наночастиц в объеме 1 % от массы.
5. Пластифицированный ПВХ летняя модификация с добавлением ТЭП в объеме 10 % от массы.
6. Пластифицированный ПВХ летняя модификация без добавок.
7. Пластифицированный ПВХ зимняя модификация с добавлением ТЭП в объеме 10 % от массы.

Лабораторный экструдер Мини ТПА-100 обладает тремя зонами нагрева, максимальной температурой обработки 400 °С и давлением впрыска 50 МПа, что позволяет создавать условия формования изделий, максимально приближенные к промышленному экструдеру.

Для получения физико-механических характеристик материалов образцы подвергались испытаниям на растяжение при температурах +20 °С, -40 °С и 50 °С с использованием испытательной машины Instron 5980 с климатической камерой, что позволяло проводить испытания при заданных температурах.

Таким образом, проведенные исследования позволяют оценить влияние добавок на физико-механические свойства поливинилхлоридных труб и определить их пригодность для различных условий эксплуатации.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование ПВХ композитов при температуре +20 °С позволяет оценить характеристики полимерных композитов в летний период. Перед проведением испытаний образцы подвергались выдержке при температуре +20 °С.

Деформация определялась как отношение длины при растяжении к начальной длине образца.

Растяжение осуществлялось со скоростью 3 мм/сек. Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты испытаний материалов на растяжение при температуре 20 °С
Table 1. Results of tensile tests of materials at a temperature of 20 °С

Номер, описание образца	Толщина	Ширина	Длина	Модуль упругости	Деформативность
	(mm)	(mm)	(mm)	Мпа	%
1. ПВХ для спирали 100 %	4	10	12	553	15
2. ПВХ для спирали + отходы производства ПВХ шлангов (30 %)	4	10	12	465	20
3. Пластифицированный ПВХ зимняя модификация	4	10	12	3,7	>500
4. Пластифицированный ПВХ зимняя модификация + наночастицы	4	10	12	4,8	>500
5. Пластифицированный ПВХ летняя модификация + 10 % ТЭП	4	10	12	4,2	>500
6. Пластифицированный ПВХ летняя модификация	4	10	12	4,4	>500
7. Пластифицированный ПВХ зимняя модификация + 10 % ТЭП	4	10	12	5,0	>500

Полученные результаты исследований позволяют сделать следующие выводы:

Добавка отходов переработки к жесткому ПВХ незначительно снижает его модуль упругости (показатель жесткости спирали) и повышает его пластичность. Это свидетельствует о том, что добавка вторичных гранул экономически оправдана, особенно для шлангов небольших диаметров, где прочность спирали не является критичной для эксплуатации гибких шлангов.

Нанодобавки, как ожидалось, увеличивают жесткость пластифицированного ПВХ. Однако основной проблемой при использовании

нанодобавок является их высокая стоимость. Поэтому необходимо оценивать целесообразность применения нанодобавок в каждом конкретном случае. Добавки ТЭП повышают жесткость зимнего пластика ПВХ и практически не влияют на жесткость летней модификации. Учитывая более низкую стоимость ТЭП по сравнению с ПВХ, это перспективное направление модификации ПВХ, которое требует дальнейшего изучения различных составов. Дополнительно, ниже представлен график нагрузка-перемещение для испытаний на растяжение при температуре +20 °С (рис. 1).

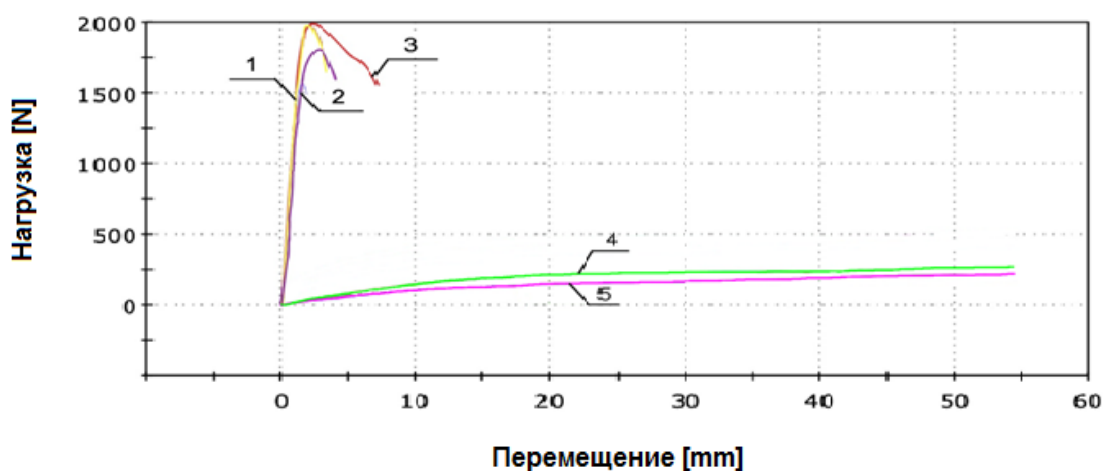


Рис. 1. Графики нагрузка-деформация при температуре +20 °С

1 – ПВХ для спирали + отходы (30 %); 2 – ПВХ для спирали + отходы (30 %);
 3 – ПВХ для спирали 100 %; 4 – пластифицированный ПВХ летняя модификация + 10 % ТЭП;
 5 – пластифицированный ПВХ зимняя модификация + 10 % ТЭП

Fig. 1. Load-deformation graphs at a temperature of +20 °С

1 – PVC for the spiral + waste (30 %); 2 – PVC for the spiral + waste (30 %); 3 – PVC for the spiral 100 %;
 4 – Plasticized PVC summer modification + 10 % thermoplastic elastomer;
 5 – Plasticized PVC winter modification + 10 % thermoplastic elastomer

Исследование ПВХ композитов при температуре -40°C позволяет оценить их морозостойкость, а также морозостойкость жесткого ПВХ, используемого для спирали.

Представленные данные позволяют

сравнить эффективность различных пластикаторов и модифицированного ПВХ в условиях низких температур.

Результаты исследований представлены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты испытаний материалов на растяжение при температуре -40°C

Table 2. Results of tensile tests of materials at a temperature of -40°C

Номер, описание образца	Толщина	Ширина	Длина	Модуль упругости	Деформативность
	(mm)	(mm)	(mm)	Мпа	%
1. ПВХ для спирали 100 %	4	10	12	561,7	40
2. ПВХ для спирали + отходы производства ПВХ шлангов (30 %)	4	10	12	537,5	29
3. Пластифицированный ПВХ летняя модификация+ 10 % ТЭП	4	10	12	44,7	>500
4. Пластифицированный ПВХ зимняя модификация	4	10	12	14,6	>500
5. Пластифицированный ПВХ зимняя модификация+ наночастицы	4	10	12	8,6	>500
6. Пластифицированный ПВХ летняя модификация	4	10	12	44,8	>500

При температуре -40°C чистый материал для спирали, а также смешанный с вторичными гранулами, подвержены разрушению при небольших деформациях. Это означает, что жесткий ПВХ при таких температурах подвержен необратимой деформации, т. е. разрушению. Следовательно, полимерные шланги при значительных изгибных нагрузках при такой температуре будут подвержены необратимому разрушению. Добавка ТЭП практически не влияет на гибкость летней модификации, причем следует отметить, что летняя модификация пластика обладает высокой пластичностью даже при

температуре -40°C . Нанодобавка существенно снижает модуль упругости зимней модификации, однако этот эффект может быть связан с небольшим количеством измерений.

Исследование ПВХ композитов при температуре -50°C позволяет оценить максимальную морозостойкость различных пластикаторов и модифицированного ПВХ. Испытания проводились только для образцов, которые проявили достаточную пластичность при температуре -40°C .

Результаты исследований представлены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты испытаний материалов на растяжение при температуре -50°C

Table 3. Results of tensile tests of materials at a temperature of -50°C

Номер, описание образца	Толщина	Ширина	Длина	Модуль упругости	Деформативность
	(mm)	(mm)	(mm)	Мпа	%
1. Пластифицированный ПВХ летняя модификация + 10 % ТЭП	4	10	12	256,5	300
2. Пластифицированный ПВХ зимняя модификация	4	10	12	28,2	>500
3. Пластифицированный ПВХ зимняя модификация + наночастицы	4	10	12	36,8	>500
4. Пластифицированный ПВХ летняя модификация	4	10	12	417,7	30
5. Пластифицированный ПВХ зимняя модификация + 10 % ТЭП	4	10	12	63,9	>500

Таким образом, добавка ТЭП в летнюю модификацию ПВХ повышает пластичность, хотя не достигает уровня зимней модификации ПВХ.

С другой стороны, добавка ТЭП в зимнюю модификацию увеличивает модуль упругости, что приводит к снижению гибкости шлангов.

Нанодобавка незначительно увеличивает модуль упругости зимней модификации ПВХ. Однако зимняя модификация ПВХ без каких-либо

добавок проявляет очень хорошую деформативность даже при таких низких температурах (рис. 2).

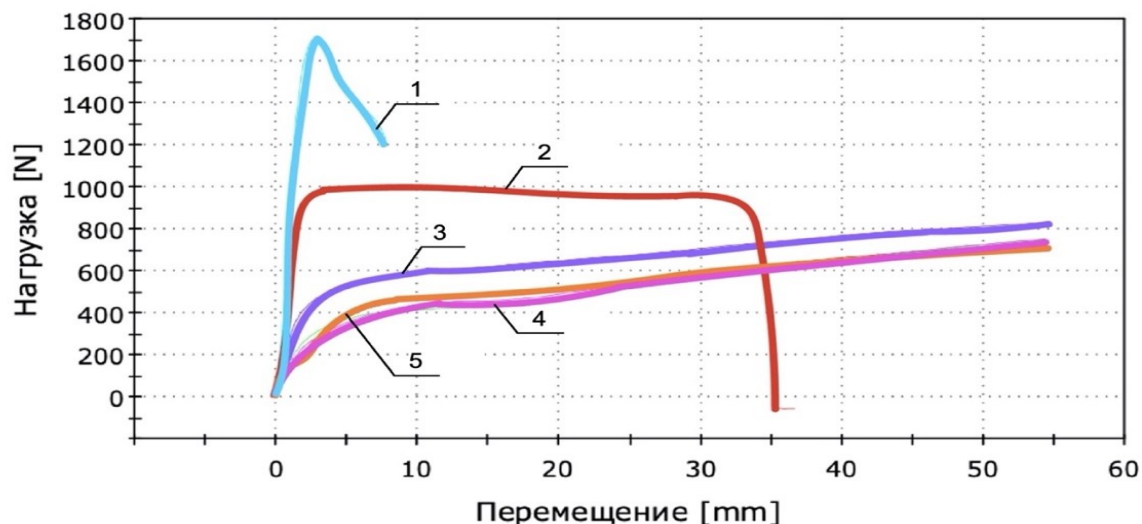


Рис. 2. Графики нагрузка-деформация при температуре -50 °С

1 – пластифицированный ПВХ летняя модификация; 2 – пластифицированный ПВХ летняя модификация + 10 % ТЭП; 3 – пластифицированный ПВХ зимняя модификация + 10 % ТЭП; 4 – пластифицированный ПВХ зимняя модификация + наночастицы; 5 – пластифицированный ПВХ зимняя модификация

Fig. 2. Load-deformation graphs at a temperature -50 °C

1 – plasticized PVC summer modification; 2 – plasticized PVC summer modification + 10 % thermoplastic elastomer; 3 – plasticized PVC winter modification + 10 % thermoplastic elastomer; 4 – plasticized PVC winter modification + nanoparticles; 5 – plasticized PVC winter modification

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования демонстрируют, что эксплуатационные характеристики гибких полимерных шлангов могут быть полностью предсказаны на основе лабораторных испытаний как материалов, так и самого шланга. Испытательная машина Instron 5980 с климатической камерой позволяет исследовать физико-механические свойства полимерных материалов в широком диапазоне температур от -70 °С до +130 °С.

Лабораторные методики оценки эксплуатационных характеристик гибких полимерных шлангов с полимерной армирующей спиралью

позволяют прогнозировать их поведение и разрабатывать новые композиционные составы с уникальными физико-механическими характеристиками.

Полученные результаты подтверждают перспективность работ по модификации ПВХ с использованием ТЭП. Помимо улучшения некоторых физико-механических показателей, ТЭП улучшают процесс экструзии ПВХ пластикатов. Одновременно показано, что вторичные гранулы не существенно снижают модуль упругости жесткого ПВХ, поэтому их можно использовать при производстве шлангов диаметром 75 мм и менее.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Rodolfo A.Jr. Application of Fracture Mechanics for the Characterization of PVC Pipes. I. Evaluation of the Applicability of the EWF Technique in Specimens Produced Directly from Pipes. Journal of Vinyl and Additive Technology. 2021. Vol. 27. Iss. 2. P. 240–253. <https://doi.org/10.1002/vnl.21798>.
2. Rodolfo A.Jr., John V.M. Application of Fracture Mechanics for the Characterization of Poly (Vinyl Chloride) Pipes. II. Evaluation of a Ring-Type Specimen for Fracture Mechanics Testing // Journal of Vinyl and Additive Technology. 2021. Vol. 27. Iss. 4. P. 806–820. <https://doi.org/10.1002/vnl.21852>.
3. Luming Dong, Yanyue Su, Yafei Qiao, Ruotong Li, Jianzhong Xu, Yajun Chen, Haiyun Ma Structure Regulation of Boron-Doped Calcium Hydroxystannate and its Enhancement on Flame Retardancy and Mechanical Properties of PVC // Polymers for Advanced Technologies. 2021. Vol. 32. Iss. 4. P. 1831–1843. <https://doi.org/10.1002/pat.5224>.

4. Bhumi Reddy Srinivasulu Reddy, Mookala Premasudha, Bharat B. Panigrahi, Kwon-Koo Cho, Nagireddy Gari Subba Reddy Modeling Constituent–Property Relationship of Polyvinylchloride Composites by Neural Networks // *Polymer Composites*. 2020. Vol. 41. Iss. 8. P. 3208–3217. <https://doi.org/10.1002/pc.25612>.
5. Xinwu Huang, Nong Tian, Tingmei Wang, Kun Wang, Qunji Xue Friction and Wear Properties of NBR/PVC Composites // *Journal of Applied Polymer Science*. 2007. Vol. 106. Iss. 4. P. 2565–2570. <https://doi.org/10.1002/app.25316>.
6. Nguyen Thi Thuy, Vu Minh Duc The Epoxidized Linseed Oil as a Secondary Plasticizer in PVC Processing // *Vietnam Journal of Chemistry*. 2020. Vol. 58. Iss. 4. P. 534–539. <https://doi.org/10.1002/vjch.202000023>.
7. Nadia A. Mohamed, Nouf F. Al-Harby Enhancement of the Thermal Stability of PVC Filled with Multiwalled Carbon Nanotubes Using New Antimicrobial Itaconimido Aryl 1,3,4-Oxadiazoles // *Polymer Composites*. 2021. Vol. 42. Iss. 3. P. 1245–1257. <https://doi.org/10.1002/pc.25897>.
8. Omdeo K.G., Manoranjan B., Smita M., Sanjay K.N. Study on Thermal, Mechanical and Morphological Properties of Recycled Poly(Vinyl Chloride)/Fly Ash Composites // *Polymer International*. 2020. Vol. 69. Iss. 6. P. 552–563. <https://doi.org/10.1002/pi.5988>.
9. Atikler U., Basalp D., Tihminlioğlu F. Mechanical and Morphological Properties of Recycled High-Density Polyethylene, Filled With Calcium Carbonate and Fly Ash // *Journal of Applied Polymer Science*. 2006. Vol. 102. Iss. 5. P. 4460–4467. <https://doi.org/10.1002/app.24772>.
10. Barrut B., Blancheton J.-P., Champagne J.-Y., Grasmick A. Mass Transfer Efficiency of a Vacuum Airlift–Application to Water Recycling in Aquaculture Systems // *Aquacultural Engineering*. 2012. Vol. 46. P. 18–28. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2011.10.004>.
11. Ming Gao, Mei Wan, Xuan Zhou Thermal Degradation and Flame Retardancy of Flexible Polyvinyl Chloride Containing Solid Superacid // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2019. Vol. 138. P. 387–396. <https://doi.org/10.1007/s10973-019-08219-3>.
12. Chenglin Zhang, Benben Song, Jianjun Shan, Qi Ni, Fan Wu, Shiming Wang Design and Optimization of a New Tube Aeration Device // *Aquaculture International*. 2020. Vol. 28. P. 985–999. <https://doi.org/10.1007/s10499-020-00507-2>.
13. Petrukhina N.N., Golubeva M.A., Maksimov A.L. Synthesis and Use of Hydrogenated Polymers // *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2019. Vol. 92. P. 715–733. <https://doi.org/10.1134/S1070427219060016>.
14. Dharmaraj M.M., Chakraborty B.C., Begum S., Natarajan R., Chandramohan S. Effect of Nanoclay Reinforcing Filler in Nitrile Rubber/Polyvinyl Chloride Blend: Frequency Response of Dynamic Viscoelasticity and Vibration Damping // *Iranian Polymer Journal*. 2022. Vol. 31. P. 1247–1261. <https://doi.org/10.1007/s13726-022-01074-4>.
15. Zlatanić A., Lava C., Wei Zhang, Petrović Z.S. Effect of Structure on Properties of Polyols and Polyurethanes Based on Different Vegetable Oils // *Journal of Polymer Science*. 2004. Vol. 42. Iss. 5. P. 809–819. <https://doi.org/10.1002/polb.10737>.
16. Шаравара А.М., Христофорова И.А. ПВХ-композиции и их применение // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2019. № 2 (80). С. 84–86. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.80.2.015>. EDN: POWFFN.
17. Москвичева М.А., Каблов В.Ф., Кейбал Н.А., Крекалева Т.В., Степанова А.Г., Соболева О.К. Влияния минеральных наполнителей на эксплуатационные свойства ПВХ-композиции // *Форум молодых ученых*. 2020. № 12 (52). С. 380–383. Режим доступа: <https://sciup.org/140287533> (дата обращения: 21.11.2023).
18. Сосницкая А.С., Свечникова В.А. Исследование свойств композиций на основе ПВХ, наполненных мелом // 69-я науч.-тех. конф. учащихся, студентов и магистрантов: сб. науч. работ в 4-х частях (г. Минск, 02–13 апреля 2018 г.). Минск, 2018. Ч. 2. С. 128–130. EDN: IKKQQI.
19. Зарипов И.И., Вихарева И.Н., Мазитова К.А., Шевелёв И.Н., Мазитова А.К. Влияние нанодобавок на свойства ПВХ-композиции // *Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал*. 2022. Т. 14. № 3. С. 205–210. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-3-205-210>. EDN: BQNGRC.
20. Лутфуллаев С.Ш., Джумаева А.А.К. Исследование влияния наполнителей на свойства ПВХ-композиции // *UNIVERSUM: технические науки*. 2022. № 12-5 (105). С. 48–52. <https://doi.org/10.32743/UniTech.2022.105.12.14755>. EDN: YEPVWE.
21. Крошл П. Выбор типа ПВХ для разработки композиций // *Светопрозрачные конструкции*. 2019. № 3–4 (125–126). С. 44–55. EDN: EBJIZI.
22. Крошл П. Выбор полимера для конкретных применений жестких композиций ПВХ // *Светопрозрачные конструкции*. 2019. № 5–6 (127–128). С. 64–75. EDN: ХКМААР.
23. Гроссман Ф. Руководство по разработке композиций на основе ПВХ // *Светопрозрачные конструкции*. 2018. № 5–6 (121–122). С. 52–58. EDN: YTLBZB.
24. Уилки Ч., Саммерс Дж., Даниэлс Ч. Поливинилхлорид. СПб.: Центр образовательных программ «Профессия», 2007. 800 с.
25. Штаркман Б.П. Основы разработки термопластичных полимерных материалов. Н. Новгород: Нижегородский гуманитарный центр, 2004. 328 с.

26. Галимов Э.Р., Мухин А.М., Галимова Н.Я., Шибиков В.Г. Композиционные материалы на основе поливинилхлорида, дисперсных наполнителей и полимерных модификаторов. Набережные Челны: Издательско-полиграфический центр Камской государственной инженерно-экономической академии, 2012. 170 с.
27. Glazkovskii Y.V., Zgayevskii V.E., Ruchinskii S.P., Bakardzhiyev N.M. IR Spectroscopic Study of the Temperature Behaviour of Conformational Transitions in Polyvinylchloride // *Polymer science U.S.S.R.* 1966. Vol. 8. Iss. 8. P. 1622–1628. [https://doi.org/10.1016/0032-3950\(66\)90184-5](https://doi.org/10.1016/0032-3950(66)90184-5). EDN: XKRLEE.
28. Симонов-Емельянов И.Д., Густова Е.В., Макаров В.Л., Кулезнев В.Н. Оценка термостабильности литевых материалов на основе жесткого ПВХ // *Пластические массы*. 1984. № 2. С. 26–28.
29. Кулезнева В.Н., Гусева В.К. Технология переработки полимеров. Ч. 1. Основы технологии переработки пластмасс. М.: Химия, 2004. 600 с.
30. Аскадский А.А., Кондращенко В.И. Компьютерное материаловедение полимеров. Т. 1: Атомно-молекулярный уровень. М.: Научный мир, 1999. 544 с.

REFERENCES

1. Rodolfo A.Jr. Application of Fracture Mechanics for the Characterization of PVC Pipes. I. Evaluation of the Applicability of the EWF Technique in Specimens Produced Directly from Pipes. *Journal of Vinyl and Additive Technology*. 2021;27;2:240-253. <https://doi.org/10.1002/vnl.21798>.
2. Rodolfo A.Jr., John V.M. Application of Fracture Mechanics for the Characterization of Poly (Vinyl Chloride) Pipes. II. Evaluation of a Ring-Type Specimen for Fracture Mechanics Testing. *Journal of Vinyl and Additive Technology*. 2021;27;4:806-820. <https://doi.org/10.1002/vnl.21852>.
3. Luming Dong, Yanyue Su, Yafei Qiao, Ruotong Li, Jianzhong Xu, Yajun Chen, Haiyun Ma Structure Regulation of Boron-Doped Calcium Hydroxystannate and its Enhancement on Flame Retardancy and Mechanical Properties of PVC. *Polymers for Advanced Technologies*. 2021;32;4:1831-1843. <https://doi.org/10.1002/pat.5224>.
4. Bhumi Reddy Srinivasulu Reddy, Mookala Premasudha, Bharat B. Panigrahi, Kwon-Koo Cho, Nagireddy Gari Subba Reddy Modeling Constituent–Property Relationship of Polyvinylchloride Composites by Neural Networks. *Polymer Composites*. 2020;41;8:3208-3217. <https://doi.org/10.1002/pc.25612>.
5. Xinwu Huang, Nong Tian, Tingmei Wang, Kun Wang, Qunji Xue Friction and Wear Properties of NBR/PVC Composites. *Journal of Applied Polymer Science*. 2007;106;4: 2565-2570. <https://doi.org/10.1002/app.25316>.
6. Nguyen Thi Thuy, Vu Minh Duc The Epoxidized Linseed Oil as a Secondary Plasticizer in PVC Processing. *Vietnam Journal of Chemistry*. 2020;58;4:534-539. <https://doi.org/10.1002/vjch.202000023>.
7. Nadia A. Mohamed, Nouf F. Al-Harby Enhancement of the Thermal Stability of PVC Filled with Multiwalled Carbon Nanotubes Using New Antimicrobial Itaconimido Aryl 1,3,4-Oxadiazoles. *Polymer Composites*. 2021;42;3:1245-1257. <https://doi.org/10.1002/pc.25897>.
8. Omdeo K.G., Manoranjan B., Smita M., Sanjay K.N. Study on Thermal, Mechanical and Morphological Properties of Recycled Poly(Vinyl Chloride)/Fly Ash Composites. *Polymer International*. 2020;69;6:552-563. <https://doi.org/10.1002/pi.5988>.
9. Atikler U., Basalp D., Tihminlioğlu F. Mechanical and Morphological Properties of Recycled High-Density Polyethylene, Filled With Calcium Carbonate and Fly Ash. *Journal of Applied Polymer Science*. 2006;102;5:4460-4467. <https://doi.org/10.1002/app.24772>.
10. Barrut B., Blancheton J.-P., Champagne J.-Y., Grasmick A. Mass Transfer Efficiency of a Vacuum Airlift–Application to Water Recycling in Aquaculture Systems. *Aquacultural Engineering*. 2012;46:18-28. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2011.10.004>.
11. Ming Gao, Mei Wan, Xuan Zhou Thermal Degradation and Flame Retardancy of Flexible Polyvinyl Chloride Containing Solid Superacid. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2019;138;387-396. <https://doi.org/10.1007/s10973-019-08219-3>.
12. Chenglin Zhang, Benben Song, Jianjun Shan, Qi Ni, Fan Wu, Shiming Wang Design and Optimization of a New Tube Aeration Device. *Aquaculture International*. 2020;28:985-999. <https://doi.org/10.1007/s10499-020-00507-2>.
13. Petrukhina N.N., Golubeva M.A., Maksimov A.L. Synthesis and Use of Hydrogenated Polymers. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2019;92:715-733. <https://doi.org/10.1134/S1070427219060016>.
14. Dharmaraj M.M., Chakraborty B.C., Begum S., Natarajan R., Chandramohan S. Effect of Nanoclay Reinforcing Filler in Nitrile Rubber/Polyvinyl Chloride Blend: Frequency Response of Dynamic Viscoelasticity and Vibration Damping. *Iranian Polymer Journal*. 2022;31:1247-1261. <https://doi.org/10.1007/s13726-022-01074-4>.
15. Zlatanić A., Lava C., Wei Zhang, Petrović Z.S. Effect of Structure on Properties of Polyols

- and Polyurethanes Based on Different Vegetable Oils. *Journal of Polymer Science*. 2004;42;5:809-819. <https://doi.org/10.1002/polb.10737>.
16. Sharavara A.M., Khristoforova I.A. PVC Compositions and Their Application. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal = International Research Journal*. 2019;2(80):84-86. (In Russ.). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.80.2.015>. EDN: POWFFN.
17. Moskvicheva M.A., Kablov V.F., Keibal N.A., Krekaleva T.V., Stepanova A.G., Soboleva O.K. Influence of Mineral Fillers on the Performance Properties of PVC Compositions. *Forum molodykh uchenykh = Young Scientists Forum*. 2020;12(52):380-383. Available from: <https://sciup.org/140287533> [Accessed 17th November 2023]. (In Russ.).
18. Sosnitskaya A.S., Svechnikova V.A. Study of the properties of PVC-based compositions filled with chalk. In: *69-ya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya uchashchikhsya, studentov i magistrantov sbornik nauchnykh rabot v 4-kh chastyakh = 69th Scientific and Technical Conference of Students and Undergraduates: A Collection of Scientific Works in 4 Parts*. 02–13 April 2018, Minsk. Minsk; 2018. Part. 2. P. 128-130. (In Russ.). EDN: IKKQQI.
19. Zaripov I.I., Vikhareva I.N., Mazitova K.A., Shevelev I.N., Mazitova A.K. Influence of Nanoadditives on PVC Composition Properties. *Nanotehnologii v stroitel'stve: nauchnyj internet-zhurnal = Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal*. 2022;14;3:205-210. (In Russ.). <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-3-205-210>. EDN: BQNGRC.
20. Lutfullayev S. Sh., Djumaeva A.A.K. Study of The Influence of Fillers On the Properties of PVC Composition. *UNIVERSUM: tekhnicheskie nauki = Universum: technical sciences* 2022;12-5(105):48-52. (In Russ.). <https://doi.org/10.32743/UniTech.2022.105.12.14755>. EDN: YEPVWE.
21. Kroshl P. Selecting The Type of PVC for Developing Compositions. *Svetoprozrachnye konstruksii = Translucent structures*. 2019;3–4(125–126):44-55. (In Russ.). EDN: EBJIZI.
22. Kroshl P. Resin Selection for Specific Applications of Rigid PVC Compositions. *Svetoprozrachnye konstruksii = Translucent structures*. 2019;5–6(127–128):64-75. (In Russ.). EDN: XKMAAP.
23. Grossman F. Guidelines for The Development of PVC-Based Compositions. *Svetoprozrachnye konstruksii = Translucent structures*. 2018;5–6(121–122):52-58. (In Russ.). EDN: YTLBZB.
24. Uilki Ch., Sammers Dzh., Daniels Ch. *Polyvinylchloride*. St. Petersburg: Center for Educational Programs "Profession"; 2007. 800 p. (In Russ.).
25. Shtarkman B.P. *Fundamentals of The Development of Thermoplastic Polymer Materials*. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod Humanitarian Center; 2004. 328 p. (In Russ.).
26. Galimov E.R., Mukhin A.M., Galimova N.Ya., Shibakov V.G. *Composite Materials Based on Polyvinyl Chloride, Dispersed Fillers and Polymer Modifiers*. Naberezhnye Chelny: Publishing and Printing Center of the Kama State Engineering and Economic Academy; 2012. 170 p. (In Russ.).
27. Glazkovskii Y.V., Zgayevskii V.E., Ruchinskii S.P., Bakardzhiyev N.M. IR Spectroscopic Study of the Temperature Behaviour of Conformational Transitions in Polyvinylchloride. *Polymer science U.S.S.R.* 1966;8;8:1622-1628. [https://doi.org/10.1016/0032-3950\(66\)90184-5](https://doi.org/10.1016/0032-3950(66)90184-5). EDN: XKRLEE.
28. Simonov-Emel'yanov I.D., Gustova E.V., Makarov V.L., Kuleznev V.N. Evaluation of The Thermal Stability of Injection Molded Materials Based on Rigid PVC. *Plasticheskie massy = Plastics*. 1984;2:26-28. (In Russ.).
29. Kulezneva V.N., Guseva V.K. *Polymer Processing Technology. Part 1. Fundamentals of Plastics Processing Technology*. Moscow: Chemistry; 2004. 600 p. (In Russ.).
30. Askadskii A.A., Kondrashchenko V.I. *Computer Materials Science of Polymers. T. 1: Atomic-Molecular Level*. Moscow: Scientific World; 1999. 544 p. (In Russ.).

Информация об авторах**Алексеев Виктор Викторович,**

к.х.н., доцент,
доцент кафедры строительного производства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
✉e-mail: alavic59@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-9867-0496>
Author ID: 190462

Information about the authors**Viktor V. Alekseenko,**

Cand. of Sci. (Chem.), Associate Professor,
Associate Professor, Department of Construction
Production,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
✉e-mail: alavic59@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-9867-0496>
Author ID: 190462

Гонжитов Алдар Борисович,
аспирант,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: gonzhitow1999@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-9867-0496>
Author ID: 1237945

Aldar B. Gonzhitov,
Postgraduate Student,
Irkutsk National Research
Technical university,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: gonzhitow1999@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-9867-0496>
Author ID: 1237945

Бугдаев Стас Прокопьевич,
магистрант,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: bugdaev42@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0005-9460-5805>
Author ID: 939238

Stas P. Bugdaev,
Master's Student,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,
e-mail: bugdaev42@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0005-9460-5805>
Author ID: 939238

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

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

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 21.11.2023.
Одобрена после рецензирования 19.12.2023.
Принята к публикации 21.12.2023.

Information about the article

The article was submitted 21.11.2023.
Approved after reviewing 19.12.2023.
Accepted for publication 21.12.2023.

**Разработка мероприятий по модернизации системы отопления учебного корпуса № 7 ВСГУТУ и оценка экономической эффективности****О.Б. Аюрова^{1✉}, Е.М. Бадашкеева², А.Б. Цыбенова³,
В.Б. Цыбенков⁴, В.И. Танков⁵**^{1,2,3,4,5}Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления (ВСГУТУ),
г. Улан-Удэ, Республика Бурятия, Россия

Аннотация. Целью работы является анализ существующего состояния работы системы отопления учебного корпуса № 7, разработка мероприятий по модернизации данной системы с оценкой экономической эффективности. В ходе анализа был выполнен теплотехнический расчет наружных ограждающих конструкций, произведено натурное обследование системы отопления, замеры параметров внутреннего микроклимата и тепловизионная съемка. Были рассчитаны тепловые потери помещений и выполнен поверочный гидравлический расчет системы отопления. В результате обследования были выявлены недостатки в работе существующей системы отопления, для устранения которых были разработаны два варианта мероприятий по ее модернизации. Первый вариант заключается в регулировании системы (снятие и добавление секций; замена уплотнителей окон; замена трубопроводов на другой диаметр; установка ручных балансировочных клапанов на стояках и ответвлениях, установка насоса на обратном трубопроводе; установка замыкающих участков). Второй вариант предполагает капитальный ремонт и включает в себя, помимо перечисленных, дополнительные мероприятия по утеплению чердачного перекрытия и торцевых стен корпуса, которые позволят снизить тепловые потери на 25 %. Проведен подбор оборудования автоматизированного теплового пункта для обоих вариантов. Выполнены сметные расчеты, проведена оценка экономической эффективности, определены сроки окупаемости по каждому мероприятию. Проведение натурного обследования наружных ограждающих конструкций, системы отопления, замеров параметров микроклимата позволило разработать мероприятия по модернизации системы отопления учебного корпуса № 7 и оценить экономическую эффективность.

Ключевые слова: система отопления, теплотехнический расчет наружных ограждающих конструкций, параметры внутреннего микроклимата, тепловизионная съемка, гидравлический расчет системы отопления, оценка экономической эффективности

Для цитирования: Аюрова О.Б., Бадашкеева Е.М., Цыбенова А.Б., Цыбенков В.Б., Танков В.И. Разработка мероприятий по модернизации системы отопления учебного корпуса №7 ВСГУТУ и оценка экономической эффективности // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 1. С. 30–45. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-1-30-45>. EDN: JARKBE.

Original article**Development of measures to modernize the heating system in ESSUTM academic building No. 7 and evaluation of economic efficiency****Oyuna B. Ayurova^{1✉}, Ekaterina M. Badashkeeva², Arina B. Tsybenova³,
Valentine B. Tsybenov⁴, Vasiliy I. Tankov⁵**^{1,2,3,4,5}East Siberian State University of Technology and Management (ESSUTM),
Ulan-Ude, Republic of Buryatia, Russia

Abstract. The present work is aimed at analyzing the heating system operation in academic building No. 7 and developing measures to modernize this system with an evaluation of economic efficiency. The

© Аюрова О.Б., Бадашкеева Е.М., Цыбенова А.Б., Цыбенков В.Б., Танков В.И., 2024

analysis involved a thermal analysis of exterior wall envelopes, an on-site inspection of the heating system, as well as measurements of internal microclimate parameters and thermal imaging. Heat losses in rooms were calculated, and a verification hydraulic analysis of the heating system was performed. The inspection revealed deficiencies in the operation of the existing heating system, and two options for modernization measures were developed to address these deficiencies. The first option consists in adjusting the system (removing and adding sections; replacing window seals; replacing piping with that of a different diameter; installing manual balancing valves on risers and branches; installing a pump on the return piping; installing closing sections). The second option involves major repairs and includes additional measures (in addition to those specified above) to insulate the attic flooring and end walls of the building, which can reduce heat losses by 25 %. For both options, automated heating substation equipment was selected. In addition, costs were estimated, economic efficiency was evaluated, and payback periods for each measure were determined. The on-site inspection of exterior wall envelopes and the heating system, as well as measurement of microclimate parameters, provided a means to develop measures to modernize the heating system of academic building No. 7 and evaluate economic efficiency.

Keywords: heating system, thermal engineering calculation of external enclosing structures, parameters of the internal microclimate, thermal imaging, hydraulic calculation of the heating system, assessment of economic efficiency

For citation: Ayurova O.B., Badashkeeva E.M., Tsybenova A.B., Tsybenov V.B., Tankov V.I. Development of measures to modernize the heating system in ESSUTM academic building No. 7 and evaluation of economic efficiency. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2024;14(1):30-45. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-1-30-45>. EDN: JARKBE.

ВВЕДЕНИЕ

Опыт эксплуатации общественных зданий, построенных до 1990-х гг., показывает, что они сохраняют хорошие несущие способности, но теплопотребление таких объектов высокое (класс энергоэффективности – «Д», пониженный) [1]. Вопросы повышения энергоэффективности эксплуатируемых зданий рассматриваются в трудах В.Г. Гагарина [2–4], Ю.А. Табун-

щикова, В.И. Ливчак, Н.В. Шилкина [5], О.Д. Самарина [6] и др. Для реализации программы энергосбережения необходимо провести анализ работы инженерных систем учебных корпусов и общежитий Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления (ВСГУТУ), разработать мероприятия и провести оценку экономической эффективности.

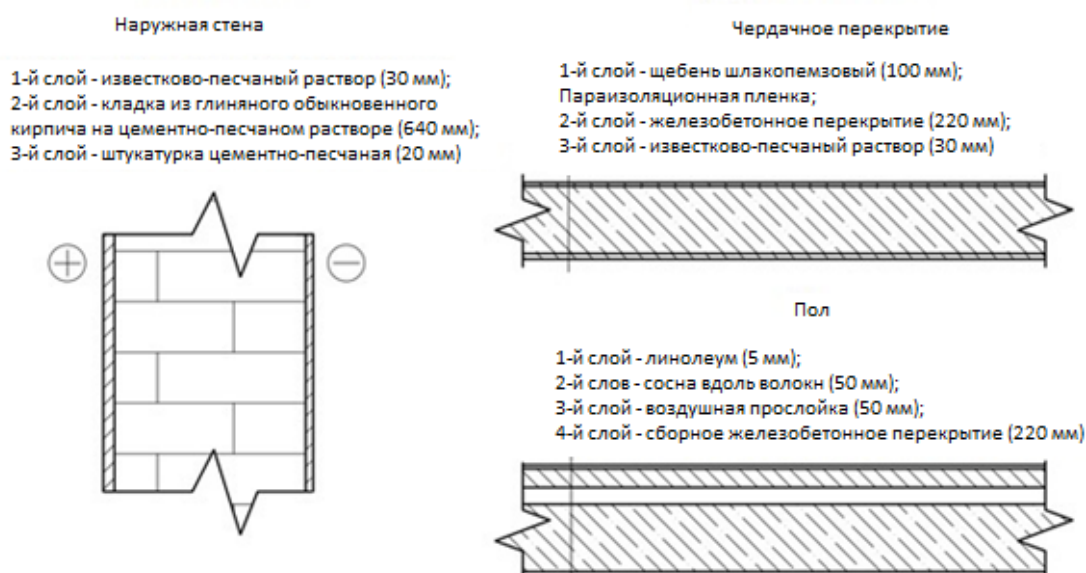


Рис. 1. Наружные ограждающие конструкции учебного корпуса № 7
Fig.1. External enclosing structures of the educational building No. 7

В данной статье представлены материалы по технико-экономическому обоснованию мероприятий по модернизации системы отопления на примере учебного корпуса № 7. Объект расположен в городе Улан-Удэ, климатические характеристики приняты согласно СП 131.13330.2020¹. Здание учебного корпуса № 7 ВСГУТУ было построено в 1968 г. и представляет собой трехэтажное сооружение П-образной формы в плане, размерами 48×64×9 м. В осях А-В и 1-7 имеется подвал, через который осуществляется ввод теплоносителя и расположены два элеваторных узла.

ОПИСАНИЕ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Согласно техническому паспорту здания и натурному обследованию определены конструкции наружных ограждающих конструкций (НОК), результаты представлены на рис. 1.

В учебном корпусе установлены двухкамерные стеклопакеты в ПВХ-переплетах, входные группы – металлические двери с утеплителем.

Проведен теплотехнический расчет, согласно методике СП 50.13330.2012², результаты которого приведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты теплотехнического расчета существующих наружных ограждающих конструкций учебного корпуса № 7

Table 1. Results of thermal engineering calculation of existing external enclosing structures of educational building No. 7

Наименование	Требуемое сопротивление теплопередачи $R_o^{тр}, м^2 \cdot ^\circ C / Вт$	Общее термическое сопротивление теплопередачи $R_o, м^2 \cdot ^\circ C / Вт$	Коэффициент теплопередачи, $Вт / м^2 \cdot ^\circ C$	Соответствие требованиям тепловой защиты
Наружная стена	3,22	0,913	1,095	Не соответствует
Чердачное перекрытие	4,29	0,832	1,202	Не соответствует
Окна	0,78	0,78	1,282	Соответствует
Входные двери	0,843	0,843	1,186	Соответствует
Полы не утепленные	4,29	0,459	2,179	Не соответствует

Вывод: Конструкция наружной стены, пола и чердачного перекрытия не удовлетворяют требованиям тепловой защиты здания, а именно $R_o > R_o^{тр}$, следовательно, требуется теплоизоляция.

ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Система теплоснабжения централизованная, источник – центральный тепловой пункт, подключенный к ТЭЦ-2.

Система подключена по зависимой схеме через элеваторный узел, который расположен в подвале. Тепловой узел в работоспособном состоянии, состоит из запорной арматуры, грязевика, элеватора водоструйного, манометров и термометров. Температурный режим в помещениях здания обеспечивается работой вертикальной водяной одноконтурной тупиковой системы отопления с нижней разводкой. Магистральные трубопроводы проложены под полом первого этажа и в подвале, в исправном

состоянии и без следов износа. Система теплоснабжения делится на отопление и горячее водоснабжение. На системе отопления корпуса № 7 отсутствует счетчик. Он установлен в тепловой камере в учебных корпусах № 7, 7а, 7б, 8, 9. На подающем трубопроводе горячего водоснабжения установлен счетчик ВЗЛЕТ ЭРСВ-440Л. Срок поверки счетчика 2021–2026 гг.

В здании установлены отопительные приборы – чугунные радиаторы МС 140М-500 и биметаллические Rifar-A 500. Трубопроводы системы отопления стальные и водогазопроводные по ГОСТ 3262-75³, также есть полипропиленовые трубопроводы ТЕВО TECHNICS и РВК-ORANGE.

ОБСЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВНУТРЕННЕГО ВОЗДУХА

В табл. 2 представлены нормируемые параметры внутреннего воздуха, которые определены согласно ГОСТ 30494-2011³.

¹СП 131.13330.2020 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология». Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации. М.: Стандартинформ, 2023. 107 с.

²СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003.: (С имз № 1, 2). М.: ФГБУ «РСТ», 2022.

³ГОСТ 30494-2011 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. М.: Стандартинформ, 2023.

Для кабинетов и ряда аудиторий определена категория помещения 2 – помещения, в которых люди заняты умственным трудом, учебой; для лекционных аудиторий, конференц-

зала, столовой – категория 3а – помещения с массовым пребыванием людей, в которых люди находятся преимущественно в положении сидя и без уличной одежды.

Таблица 2. Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха общественных зданий

Table 2. Optimal and permissible norms of temperature, relative humidity and air speed of public buildings

Период года	Категория помещений	Температура воздуха, °С		Результирующая температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая, не более	оптимальная	допустимая, не более
Холодный	2	19–21	18–23	18–20	17–22	45–30	60	0,2	0,3
	3а	20–21	19–23	19–20	19–22	45–30	60	0,2	0,3

МЕТОДЫ

Произведено обследование помещений. Были проведены измерения температур, влажности и скорости внутреннего воздуха с использованием термоанемометра Testo 435, а также опрос на наличие аудиторий, в которых учащиеся ощущают дискомфорт.

Измерение температур определенных холодных участков (окна, оконные откосы и угловые стены) производилось с помощью тепловизора FLUKE.

Согласно СП 50.13330.2012 минимальная температура внутренней поверхности остекления вертикальных светопрозрачных конструкций должна быть не ниже 3 °С. Согласно ГОСТ 30494-20113 – в холодный период года

измерение показателей микроклимата следует выполнять при температуре наружного воздуха не выше -5 °С, а также не допускается проведение измерений при безоблачном небе в светлое время суток.

Замеры и исследования производились в течение отопительных сезонов 2021–2022 и 2022–2023 гг., при температуре наружного воздуха -23 и -25 °С. Проведена математическая обработка результатов замеров и их осреднение.

По результатам обследования измерения температур выявлены аудитории с температурой ниже и выше допустимой. Результаты замера микроклимата нескольких помещений представлены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты замера параметров микроклимата помещений

Table 3. Results of measuring indoor microclimate parameters

Наименование	Этаж	Температура помещения, °С	t оконных откосов, °С	V движения воздуха, м/с	Вывод
1	2	3	4	5	6
Столовая 6	1	13,2	Окно 1 = -6 °С Окно 2 = -2,5 °С Окно 3 = -1,2 °С (рис.2)	0,4	1) t воздуха помещения ниже допустимой 18 °С 2) t оконных откосов ниже 0 °С 3) скорость движения воздуха выше допустимой (0,3 м/с)
Коридор 39	1	22,3	Окна = -12,7 °С Окна = -15 °С	–	1) t оконных откосов ниже 0 °С
Аудитория 18,19,20 (ауд. 707–709)	1	27,0	–	–	1) t воздуха помещения выше допустимой 23 °С
Кабинет 33 (ауд. 713)	1	26,2	–	–	1) t воздуха помещения выше допустимой 24 °С

Продолжение табл. 3

Наименование	Этаж	Температура помещения, °С	t оконных откосов, °С	V движения воздуха, м/с	Вывод
1	2	3	4	5	6
Кабинет 42 (ауд. 704), кабинет 43, лаборатория 44	1	26,5	–	–	1) t воздуха помещения выше допустимой 24 °С
Кабинет 1,2 (ауд. 715)	2	17,1	Окно 1 = -6,9 °С Окно 2 = -5,1 °С Окно 3 = -0,8 °С	–	1) t воздуха помещения ниже допустимой 18 °С 2) t оконных откосов ниже 0 °С
Аудитория 5 (ауд. 717)	2	26,9	–	–	1) t воздуха помещения выше допустимой 24 °С
Аудитория 8 (ауд. 719)	2	16,9	–	–	1) t воздуха помещения ниже допустимой 18 °С
Аудитория 24 (ауд. 726)	2	17	Окна = -10,2 °С Окна = -11,2 °С Окна = -14,2 °С Окна = -3,6 °С	1,4	1) t воздуха помещения ниже допустимой 18 °С 2) t оконных откосов ниже 0 °С 3) скорость движения воздуха выше допустимой (0,3 м/с)
Кабинет 7 (ауд. 719)	2	26,2	–	–	1) t воздуха помещения выше допустимой 24 °С
Кабинет 15 (ауд. 720)	2	26,8	–	–	1) t воздуха помещения выше допустимой 24 °С
Кабинет 16 (ауд. 723)	2	26,9	–	–	1) t воздуха помещения выше допустимой 24 °С
Кабинет 17 (ауд. 722)	2	26,2	–	–	1) t воздуха помещения выше допустимой 24 °С
Кабинет 18 (ауд. 723)	2	26,1	–	–	1) t воздуха помещения выше допустимой 24 °С
Кабинет 21 (ауд. 725)	2	26,5	–	–	1) t воздуха помещения выше допустимой 24 °С
Кабинет 22 (ауд. 725)	2	16,8	–	–	1) t воздуха помещения ниже допустимой 18 °С
Кабинет 27	2	14,6	–	–	1) t воздуха помещения ниже допустимой 18 °С
Кабинет 28 (ауд. 718а)	2	26,5	–	–	1) t воздуха помещения выше допустимой 24 °С
Кабинет 31 (ауд. 714)	2	15,2	–	–	1) t воздуха помещения ниже допустимой 18 °С

Окончание табл. 3

Наименование	Этаж	Температура помещения, °С	t оконных откосов, °С	V движения воздуха, м/с	Вывод
1	2	3	4	5	6
Коридор 25	2	–	Окно 1 = -7,9 °С Окно 2 = -6,1 °С Окно 3 = -4,8 °С Окно 4 = -3,9 °С	–	1) t оконных откосов ниже 0 °С
Лестничная клетка 1	1–3	13,5	Окно 1 = -7,2 °С Окно 2 = -5,1 °С	–	1) t воздуха помещения ниже допустимой 18 °С 2) t оконных откосов ниже 0 °С
Кабинет 2,3	3	16,2	Окно 1 = -6,9 °С Окно 2 = -7,1 °С Окно 3 = -3,8 °С Окно 4 = -5,8 °С	0,8	1) t воздуха помещения ниже допустимой 18 °С 2) t оконных откосов ниже 0 °С 3) скорость движения воздуха выше допустимой (0,3 м/с)
Кабинет 4	3	16,2	Окно 1 = -5,9 °С Окно 2 = -6,2 °С Окно 3 = -5,7 °С	–	1) t воздуха помещения ниже допустимой 18 °С 2) t оконных откосов ниже 0 °С
Дисплейный класс 7 (ауд. 728-3)	3	16,2	Окно 1 = -7,8 °С Окно 2 = -6,9 °С Окно 3 = -4,8 °С	–	1) t воздуха помещения ниже допустимой 18 °С 2) t оконных откосов ниже 0 °С
Дисплейный класс 8 (ауд. 728-3)	3	16,5	–	–	1) t воздуха помещения ниже допустимой 18 °С
Дисплейный класс 9 (ауд. 728-4)	3	17,5	Окно 1 = -2,9 °С Окно 2 = -5,9 °С	–	1) t воздуха помещения ниже допустимой 18 °С 2) t оконных откосов ниже 0 °С
Дисплейный класс 21 (ауд. 728-1)	3	17,1	Окно 1 = -4,5 °С Окно 2 = -6,7 °С	–	1) t воздуха помещения ниже допустимой 18 °С 2) t оконных откосов ниже 0 °С
Лаборантская 24 (ауд. 731а)	3	13,8	–	–	1) t воздуха помещения ниже допустимой 15 °С
Лаборантская 25 (ауд. 731а)	3	14,1	–	–	1) t воздуха помещения ниже допустимой 15 °С
Аудитория 36 (ауд. 730)	3	16,9	–	–	1) t воздуха помещения ниже допустимой 18 °С
Конференц-зал 12 (ауд. 728-5)	3	25,7	Окно = 16,1 °С	0,02	1) t воздуха помещения выше допустимой 23 °С
Коридор 34	3	22,5	Окна = -2,9 °С	0,3	1) t оконных откосов ниже 0 °С

Согласно СП 50.13330.20122 нормируемый средний температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей кон-

струкции (наружных стен) не должен превышать 4,5 °С. В табл. 4 приведены результаты замера температуры на внутренней поверхности НОК.

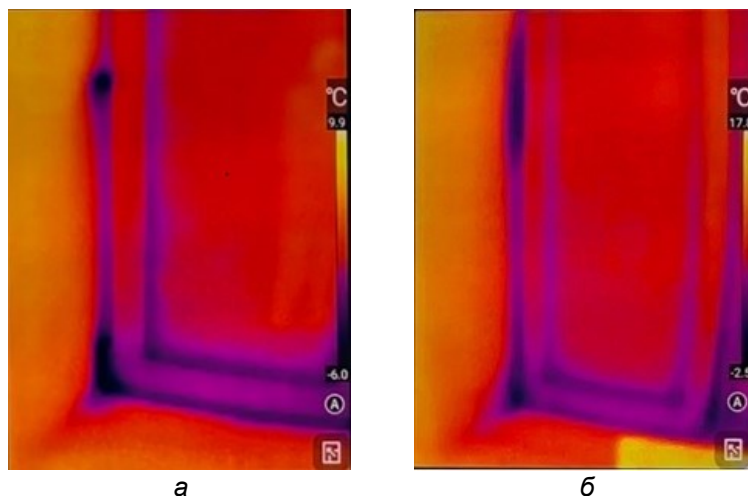


Рис. 2. Тепловизионная съемка оконных откосов в столовой а) $t = -6$ °С; б) $t = -2,5$ °С (1 этаж)
Fig. 2. Thermal imaging of window slopes in the dining room а) $t = -6$ °С; б) $t = -2,5$ °С (1st floor)

Таблица 4. Результаты замера температуры на внутренней поверхности наружных ограждающих конструкций

Table 4. Results of temperature measurements on the inner surface of external enclosing structures

Наименование	Температура внутреннего воздуха, °С	Температура внутреннего угла НОК, °С	Перепад температур, °С	Вывод
Аудитория 24 (ауд.726) 2 эт.	17	Угол 1 (нижний) = 4,4 °С Угол 1 (верхний) = 3,9 °С; Угол 2 = 7,2 °С (рис.3)	12,6 13,1 9,8	Перепад t внутреннего угла НОК и t внутреннего воздуха не соответствует нормируемому перепаду температур
Кабинет 2 (ауд.715) 2 эт.	17,1	Угол = 7,6 °С	9,5	
Кабинет 2,3 3 эт.	17,3	Угол 1 = 2,6 °С; Угол 2 = 2,8 °С	14,7 14,5	

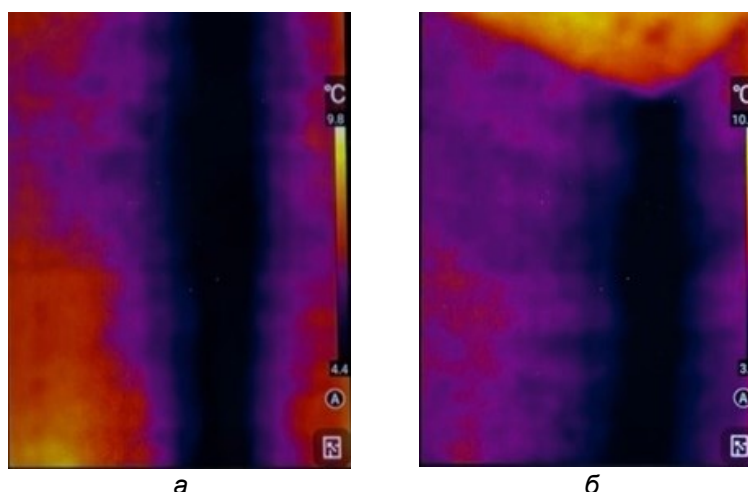


Рис. 3. Термограмма внутреннего угла помещения 24 (ауд. 726)
а) $t = 4,4$ °С; б) $t = 3,9$ °С (3 этаж)
Fig. 3. Thermogram of the inner corner of the room 24 (No. 726)
а) $t = 4,4$ °С; б) $t = 3,9$ °С (3rd floor)

Вывод: в аудитории 24 (ауд. 726, 2 эт.), кабинете 2 (ауд. 715, 2 эт.), кабинете 2, 3 (3 эт.) перепад температуры внутреннего угла ограждающей конструкции и температуры внутреннего воздуха не соответствует нормируемому перепаду температур 4,5 °С.

Тепловые потери с учетом инфильтрации составили 317 900 Вт (0,273 Гкал/час), разница с договорной нагрузкой 0,29 Гкал/час связана с тем, что не был произведен перерасчет после

установки двухкамерных стеклопакетов. Диаграмма распределения тепловых потерь через НОК представлена на рис. 4. Анализ диаграммы показывает, что основные тепловые потери происходят через наружные стены – 59 %, чердачное перекрытие – 31 %.

Произведено натурное обследование и выполнен чертеж существующей аксонометрической схемы системы отопления, которая представлена на рис. 5.



Рис. 4. Диаграмма распределения тепловых потерь по наружным ограждающим конструкциям учебного корпуса № 7.

Fig. 4. Diagram of the distribution of heat losses along the external enclosing structures of educational building No. 7

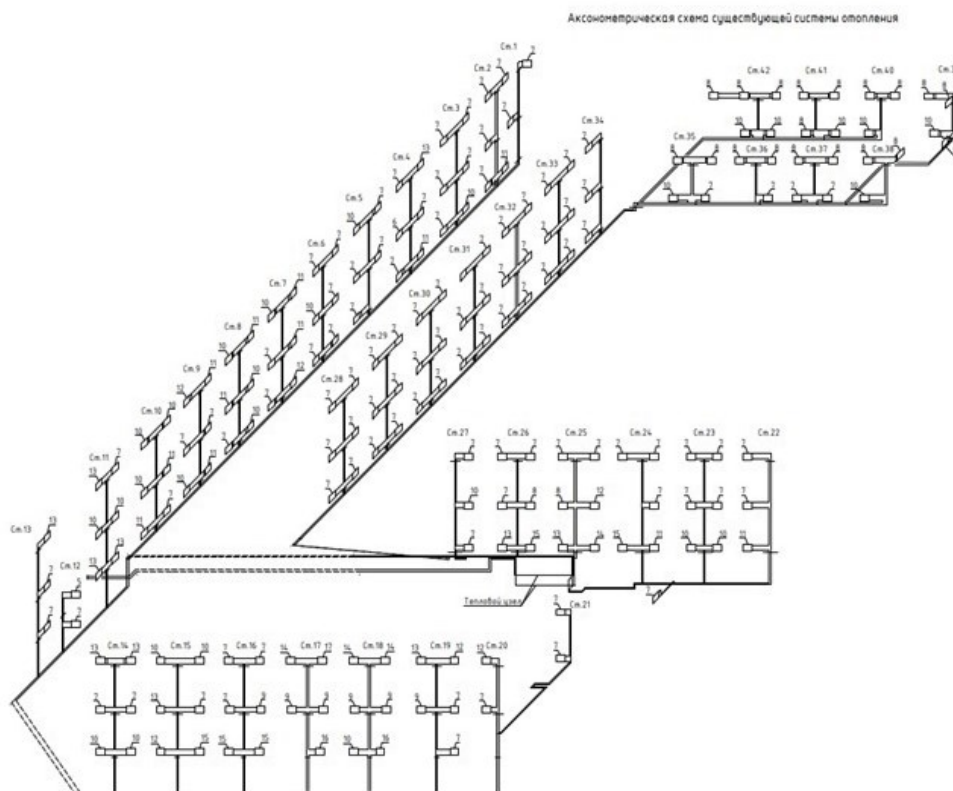


Рис. 5. Аксонометрическая схема существующей системы отопления учебного корпуса № 7
Fig. 5. Axonometric diagram of the existing heating system of educational building No. 7

Результаты натурного обследования работы системы отопления и поверочный гидравлический расчет, выполненный с использованием ПК Danfoss CO, позволили выявить причины разрегулировки существующей системы

отопления, которые приведены в табл. 5 (на примере трех помещений). Для регулирования работы существующей системы отопления был составлен перечень мероприятий (вариант 1), который приведен в табл. 6.

Таблицы 5. Перечень основных причин разрегулирования существующей системы отопления
Table 5. List of the main reasons for misregulation of the existing heating system

Помещение	Причины	Устранение причин
На каждый стояк системы отопления	1. Избыток давления 14087,92 Па в циркуляционном кольце через однотрубную систему П5 составляет 74,79 давления теплоносителя. Это может привести к гидравлическому разрегулированию системы, необходимо установить регулятор расхода на подающем трубопроводе однотрубной системы 2. Избыток давления 15060,44 Па в циркуляционном кольце через однотрубную систему П7 составляет 80,65 % давления теплоносителя. Это может привести к гидравлическому разрегулированию системы, необходимо установить регулятор расхода на подающем трубопроводе однотрубной системы 3. Избыток давления 12842,43 Па в циркуляционном кольце через однотрубную систему П9 составляет 68,42 % давления теплоносителя. Это может привести к гидравлическому разрегулированию системы, необходимо установить регулятор расхода на подающем трубопроводе однотрубной системы 4. Избыток давления 15564,65 Па в циркуляционном кольце через отопительный прибор П15 составляет 86 % давления теплоносителя. Это может вызвать гидравлическое разрегулирование системы 5. Избыток давления 15019,68 Па в циркуляционном кольце через однотрубную систему П18 составляет 79,17 % давления теплоносителя. Это может привести к гидравлическому разрегулированию системы необходимо установить регулятор расхода на подающем трубопроводе однотрубной системы. 6. Избыток давления 14346,90 Па в циркуляционном кольце через однотрубную систему П22 составляет 75,61 % давления теплоносителя. Это может привести к гидравлическому разрегулированию системы необходимо установить регулятор расхода на подающем трубопроводе однотрубной системы	Установить на каждый стояк: – ручной балансировочный клапан MVT (на обратный трубопровод) – Danfoss BVR кран шаровой запорный (на подающий трубопровод)
Элеваторный узел (подвал)	Главный подающий или обратный участки должны быть оснащены насосом	Установить на обратном трубопроводе циркуляционный насос
Кабинет 22 (1 эт.) (Тепловые потери 1040 Вт)	Теплопоступления в помещение 22 не покрывают потерь тепла. Дефицит мощности равен 577,04Вт, что составляет 55,48 % от теплотеперь помещения	Установить: – радиатор 6 секций – стальные трубопроводы Ø20–1 м – замык/уч Ø 15–0,5 м – два шаровых крана

Разработана аксонометрическая схема отрегулированной системы отопления, произведен гидравлический расчет и составлена смета на мероприятия первого варианта, представленная в табл. 9. При проведении капитального ремонта здания с целью уменьшения тепловых потерь, рассмотрены варианты утепления торцевых наружных стен и чердачного перекрытия (вариант 2), утепления наружных

стен и чердачного перекрытия (вариант 3) [7–9]. Выбор системы утепления и материалов теплоизоляции осуществлен по технико-экономическим показателям [10–12].

Для наружных стен выбрана система вентилируемых фасадов с плитами из каменного волокна, имеющая хороший опыт эксплуатации в условиях резкоконтинентального климата города Улан-Удэ.

Таблица 6. Перечень мероприятий для регулирования работы существующей системы отопления (вариант 1)

Table 6. List of measures to regulate the operation of the existing heating system (option 1)

№	Наименование мероприятия
1	В аудиториях с высокими и низкими температурами – произвести модернизацию системы отопления (снятие и добавление секций)
2	Ремонт окон – замена уплотнителей
3	Замена трубопроводов на другой диаметр
4	Установить ручные балансировочные клапаны и насос на обратном трубопроводе
5	Установить замыкающие участки для регулирования теплоносителя

Расчеты показали, что для выполнения требований тепловой защиты здания необходимо дополнительное утепление чердачного перекрытия плитами из каменного волокна $\rho_3 = 180 \text{ кг/м}^3$, толщиной 0,2 м, а для наружных стен плитами из каменного волокна $\rho_3 = 80 - 125 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, толщиной 0,15 м.

Определение термического сопротивления теплопередаче наружных стен выполнены с учетом коэффициента теплотехнической однородности⁴, который составил $\gamma = 0,82$.

Результаты теплотехнического расчета чердачного перекрытия и наружных стен с теплоизоляцией представлены в табл. 7.

Таблица 7. Результаты теплотехнического расчета наружных ограждающих конструкций с теплоизоляцией

Table 7. Results of thermal engineering calculations of external enclosing structures with thermal insulation

Наименование	Требуемое сопротивление теплопередачи R_o^{TP} , $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$	Общее термическое сопротивление теплопередачи R_o , $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$	Коэффициент теплопередачи, $\text{К}, \text{Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$	Соответствие требованиям тепловой защиты
Наружная стена	3,22	3,795	0,264	Соответствует
Чердачное перекрытие	4,29	4,8	0,208	Соответствует

Вывод: наружные ограждающие конструкции (торцевые стены и чердачное перекрытие) удовлетворяют требованиям защиты здания $R_o > R_o^{TP}$. Утепление чердачного перекрытия и торцевых наружных стен по второму варианту позволит сократить тепловые потери здания на 25 %, по варианту 3 – на 38 %. Техничко-экономическое обоснование утепления по третьему варианту показали, что данный вариант является наиболее дорогостоящим и срок окупаемости составляет 24,5 г. Этот вариант является наименее эффективным, в дальнейшем к

рассмотрению приняты варианты 1 и 2. В результате утепления торцевых стен и чердачного перекрытия (вариант 2) тепловые потери здания составят 239 660 Вт (0,206 Гкал/час), для компенсации которых модернизирована система отопления с максимальным сохранением текущего состояния (трубопроводы и нагревательные приборы). Разработана аксонометрическая схема, проведен гидравлический расчет. Определен перечень мероприятий при проведении капитального ремонта (вариант 2), который представлен в табл. 8.

Таблица 8. Перечень мероприятий при проведении капитального ремонта (вариант 2)

Table 8. List of activities during major repairs (option 2)

№	Наименование мероприятия
1	Утепление чердачного перекрытия и торцевых наружных стен минераловатными плитами из каменного волокна (наружные стены утеплить по системе «Вентилируемый фасад»)
2	Ремонт окон – замена уплотнителей
3	Замена трубопроводов на другой диаметр
4	Установить ручные балансировочные клапаны и насос на обратном трубопроводе
5	Установить замыкающие участки для регулирования теплоносителя

⁴СП 230.1325800. 2015 Конструкции ограждающие зданий. Характеристики теплотехнических неоднородностей (с изменением N 1). М.: Стандартинформ, 2019.

Для каждого варианта модернизации работы системы отопления подобран автоматизированный тепловой пункт. Проведены расчеты по оценке экономических показателей [13–30] для разработанных мероприятий, результаты которых приведены в табл. 9.

Капитальные вложения рассчитаны с использованием программного комплекса «Гранд-Смета», базисно-индексным методом с использованием индексов перевода в текущий уровень по состоянию на II квартал 2023 г. на основании сметно-нормативной базы 2020 г⁵.

Таблица 9. Экономические показатели первого и второго варианта

Table 9. Economic indicators of the first and second options

Статьи расходов	1 вариант (руб/год)	2 вариант (руб/год)
Теплоноситель	1 964 650	1 482 482,05
Эксплуатационные расходы	2 415 467,09	2 190 941,2
Капитальные вложения	1 615 111	4 664 132
Экономия, руб/год	137 525,5	515 919,95
Срок окупаемости	11,7 лет	9,7 лет
Автоматизированный тепловой пункт		
Капитальные вложения	1 260 612	1 249 852
Экономия, руб/год	294 697,53	588 245,15
Срок окупаемости (экономия 15 %)	4,3 г.	2,1 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения натурного обследования НОК, системы отопления и замеров параметров микроклимата в помещениях, определены причины и недостатки в работе существующей системы отопления.

Произведено сравнение проектных и расчетных тепловых потерь с фактическим тепловым потреблением, которые составили 317 900 Вт (0,273 Гкал/час).

Выполнен поверочный гидравлический расчет существующей системы отопления, который показал, что для качественной работы системы отопления необходимо произвести ряд мероприятий (ремонт окон, установка балансировочных клапанов, установка замыкающих участков, изменение диаметра труб, количества секций).

Капитальные вложения по данному мероприятию (вариант 1) составит 1 615 111 руб. Также для данного варианта разработано дополнительное мероприятие по установке автоматизированного теплового пункта, капитальные затраты составят 1 260 612 руб. В случае

проведения капитального ремонта целесообразно произвести мероприятия по снижению тепловых потерь.

Предложено произвести утепление чердачного перекрытия и торцевых наружных стен (вариант 2). Тепловые потери составили 239 660 Вт (0,206 Гкал/час).

Был произведен поверочный расчет существующей системы отопления для минимизации затрат на проведение капитального ремонта, который включает следующие работы: утепление чердачного перекрытия и наружных торцевых стен, ремонт окон, установка балансировочных клапанов, установка замыкающих участков, изменение диаметра труб, количества секций. Общая стоимость мероприятий по второму варианту капитального ремонта здания и системы отопления составит 4,664 млн. руб. Общая сметная стоимость установки автоматизированного теплового пункта по тепловой нагрузке второго варианта составит 1,260 млн. руб. Выбор реализации одного из вариантов разработанных мероприятий остается за руководством ВСГУТУ.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ливчак В.И., Табунщиков Ю.А. Экспресс-энергоаудит теплопотребления жилых зданий: особенности проведения // Энергосбережение. 2009. № 2. С. 8–16. Режим доступа: http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4261 (дата обращения: 10.12.2023).
2. Гагарин В.Г. Методы экономического анализа повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий. Часть 1 // АВОК: Вентиляция, отопление кондиционирование воздуха, теплоснабжение и

⁵Методика определения сметной стоимости строительства, реконструкции, капитального ремонта, сноса объектов капитального строительства, работ по сохранению объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации на территории Российской Федерации (Приказ Минстроя России от 04.08.2020 N 421/пр (ред. от 07.07.2022)).

- строительная физика. 2009. № 1. С. 10–16. Режим доступа: http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4210 (дата обращения: 15.12.2023).
3. Гагарин В.Г. Методы экономического анализа повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий. Часть 2 // АВОК: Вентиляция, отопление кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная физика. 2009. № 2. С. 14–24. Режим доступа: http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4240 (дата обращения: 20.12.2023).
4. Гагарин В.Г. Методы экономического анализа повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий. Часть 3 // АВОК: Вентиляция, отопление кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная физика. 2009. № 3. С. 62–69. Режим доступа: http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4281 (дата обращения: 13.01.2024).
5. Табунщиков Ю.А., Ливчак В.И., Гагарин В.Г., Шилкин Н.В. Пути повышения энергоэффективности эксплуатируемых зданий // АВОК: Вентиляция, отопление кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная физика. 2009. № 5. С. 38–48. Режим доступа: http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4360 (дата обращения: 19.01.2024).
6. Самарин О.Д., Багрина И.М., Колесникова О.А. Энергоэффективность общественных зданий // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2011. № 1 (109). С. 112–115. EDN: RFWXUR.
7. Егельская Д.В. Пути повышения энергоэффективности эксплуатируемых зданий и сооружений // Наука, образование и культура. 2017. № 6 (21). С. 81–84. EDN: YULYBT.
8. Шихов А.Н. Реконструкция зданий и сооружений: курс лекций. Пермь: Издательский полиграфический центр «ПрокростЪ», 2016. 398 с.
9. Бодров М.В., Морозов М.С., Руин А.Е., Пылаев А.Н. Особенности проведения капитального ремонта тепловой защиты стен жилых панельных многоквартирных серийных домов // Жилищное строительство. 2022. № 12. С. 80–84. <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2022-12-80-84>. EDN: FBFTSF.
10. Самарин О.Д., Кирушок Д.А. Выбор теплозащиты ограждений с учетом их неоднородности // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2015. № 2 (158). С. 36–39. EDN: XCOBSL.
11. Малявина Е.Г. Выявление экономически целесообразной теплозащиты наружных ограждений трехэтажного здания // Жилищное строительство. 2016. № 6. С. 13–15. EDN: WFXGX.
12. Малявина Е.Г., Фролова А.А. Выбор экономически целесообразной теплозащиты зданий на Севере РФ // Жилищное строительство. 2022. № 12. С. 72–78. <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2022-12-72-78>. EDN: NMLVMK.
13. Дмитриев А.Н., Табунщиков Ю.А., Ковалев И.Н., Шилкин Н.В. Руководство по оценке экономической эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия. М.: АВОК-Пресс, 2005. 120 с.
14. Prozuments A., Borodinecs A., Odineca T., Nemova D. Long-Term Buildings' Space Heating Estimation Method // PROCEEDINGS OF ECECE 2019. Energy, Environmental and Construction Engineering (St. Petersburg, 19–20th November 2019). St. Petersburg, 2020. P. 539–550. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42351-3_47. EDN: DESPLS.
15. Федоров С.С., Ключева Н.В. Управление системой одноконтурного теплоснабжения зданий и сооружений при зависимом подключении к тепловым сетям // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 3. С. 76–79. EDN: VSEOGL.
16. Стенин В.А. К вопросу о регулировании системы теплоснабжения // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2018. № 2-2. С. 30–33. EDN: YNIOTX.
17. Гольцов А.Б. Наладка и регулировка систем водяного отопления // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2018. № 8 (200). С. 45–62. EDN: DFQDBC.
18. Пухал В.А. Анализ режимов теплопотребления на отопление эксплуатируемых жилых зданий // Фундаментальные исследования. 2017. № 1. С. 106–111. EDN: XVLQUX.
19. Дацюк Т.А., Гримитлин А.М., Аншукова Е.А. Оценка показателей энергоэффективности зданий // Вестник гражданских инженеров. 2018. № 5 (70). С. 141–145. <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2018-15-5-141-145>. EDN: NOMAMA.
20. Ливчак В.И. Об экспериментальной оценке показателя энергоэффективности многоквартирных зданий // Энергосбережение. 2018. № 5. С. 32–37. EDN: XTFCNF.
21. Ливчак В. И. Фактическое теплопотребление зданий как показатель качества и надежности проектирования // АВОК: Вентиляция, отопление кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная физика. 2009. № 2. С. 4–14. Режим доступа: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4239&ysclid=lstwzqeg93853255527 (дата обращения: 25.01.2024).
22. Пухал В.А., Шкаровский А.Л., Черненко В.П., Кобзарь А.В. Теплопотребление жилых зданий на отопление и вентиляцию в процессе эксплуатации // Вестник гражданских инженеров. 2023. № 1 (96). С. 103–110. <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2023-20-1-103-110>. EDN: VABXVT.
23. Ливчак В.И. Минстрой России продолжает срывать решения Правительства РФ и Федерального закона № 261-ФЗ. Часть 1 // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2020. № 10 (226). С. 50–57. EDN: UZPACM.

24. Ливчак В.И. Новая редакция СП 60.13330.2020 не позволяет правильно рассчитать тепловую нагрузку и годовое теплопотребление системы отопления зданий // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2021. № 11 (239). С. 64–73. EDN: FNAKXW.
25. Ливчак В.И. Методика расчета графиков регулирования подачи теплоты в систему отопления // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2022. № 1 (241). С. 86–92. EDN: CGYVUE.
26. Ливчак В.И. Предложения по реализации повышения энергоэффективности зданий ЖКХ в России вопреки действиям Минстроя и Минэкономразвития // Инженерные системы. 2021. № 1. С. 24–33. Режим доступа: <https://isguru.ru/arhiv/18013-%E2%84%961-2021/?ysclid=lstpefhhby962899175> (дата обращения: 24.11.2023).
27. Ливчак В.И. Предложения по нормированию требований повышения энергетической эффективности зданий нового строительства и жилищного фонда России // Энергосбережение. 2021. № 7. С. 20–28. Режим доступа: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=7949 (дата обращения: 24.11.2023).
28. Гащо Е.Г., Фокин А.М. Анализ зависимости тепловой энергии, затраченной на отопление и охлаждение зданий, от различных факторов // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2022. № 2 (242). С. 64–67. EDN: WPVLLM.
29. Волков В.А., Цепляева Е.В. Блочные индивидуальные тепловые пункты // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2022. № 10 (250). С. 28–33. EDN: DYHTDR.
30. Брух С.В. Реконструкция инженерных систем существующих жилых зданий в Германии // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2022. № 7 (247). С. 38–42. EDN: HYUKPT.

REFERENCES

1. Livchak V.I., Tabunshchikov Yu.A. Express Energy Audit of Heat Consumption of Residential Buildings: Features of Implementation. *Energoberezhenie = Energy saving*. 2009;2:8-16. Available from: http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4261 [Accessed 10th December 2023]. (In Russ.).
2. Gagarin V.G. Methods for Economic Analysis of Increasing the Level of Thermal Protection of Building Envelopes. Part 1. *AVOK: Ventilyatsiya, otoplenie konditsionirovanie vozdukha, teplosnabzhenie i stroitel'naya fizika = ABOK: Ventilation, Heating, Air Conditioning, Heat Supply and Building Physics*. 2009;1:10-16. Available from: http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4210 [Accessed 15th December 2023]. (In Russ.).
3. Gagarin V.G. Methods for Economic Analysis of Increasing the Level of Thermal Protection of Building Envelopes. Part 2. *AVOK: Ventilyatsiya, otoplenie konditsionirovanie vozdukha, teplosnabzhenie i stroitel'naya fizika = ABOK: Ventilation, Heating, Air Conditioning, Heat Supply and Building Physics*. 2009;2:14-24. Available from: http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4240 [Accessed 20th December 2023]. (In Russ.).
4. Gagarin V.G. Methods for Economic Analysis of Increasing the Level of Thermal Protection of Building Envelopes. Part 3. *AVOK: Ventilyatsiya, otoplenie konditsionirovanie vozdukha, teplosnabzhenie i stroitel'naya fizika = ABOK: Ventilation, Heating, Air Conditioning, Heat Supply and Building Physics*. 2009;3:62-69. Available from: http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4281 [Accessed 13th January 2023]. (In Russ.).
5. Tabunshchikov Yu.A., Livchak V.I., Gagarin V.G., Shilkin N.V. Ways to Improve the Energy Efficiency of Existing Buildings. *AVOK: Ventilyatsiya, otoplenie konditsionirovanie vozdukha, teplosnabzhenie i stroitel'naya fizika = ABOK: Ventilation, Heating, Air Conditioning, Heat Supply and Building Physics*. 2009;5:38-48. Available from: http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4240 [Accessed 19th January 2023]. (In Russ.).
6. Samarin O.D., Bagrenina I.M., Kolesnikova O.A. Energy Efficiency of Public Buildings. *Santekhnika, otoplenie, konditsionirovanie = Plumbing. Heating. Conditioning. Energy Efficiency*. 2011;1(109):112-115. (In Russ.). EDN: RFWXUR.
7. Egel'skaya D.V. Ways to Improve the Energy Efficiency of Buildings and Structures in Use. *Nauka, obrazovanie i kul'tura = Science, Education and Culture*. 2017;6(21):81-84. (In Russ.). EDN: YULYBT.
8. Shikhov A.N. Reconstruction of Buildings and Structures: a Course of Lectures. Perm: Publishing Printing Center "Prokrost"; 2016. 389 p. (In Russ.).
9. Bodrov M.V., Morozov M.S., Ruin A.E., Pylaev A.N. Features of the Overhaul of the Thermal Protection of the Walls of Residential Panel Multi-Apartment Serial Houses. *Zhilishchnoe stroitel'stvo = Housing Construction*. 2022;12:80-84. (In Russ.). <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2022-12-80-84>. EDN: FBFTSF.
10. Samarin O.D., Kirushok D.A. Selection of Thermal Protection for Fences Taking into Account Their Heterogeneity. *Santekhnika, otoplenie, konditsionirovanie = Plumbing. Heating. Conditioning. Energy Efficiency*. 2015;2(158):36-39. (In Russ.). EDN: XCOBSL.
11. Malyavina E.G. Revealing of Economic Reasonability of Heat Insulation of Three-Storey Building's external Enclosing Structures. *Zhilishchnoe stroitel'stvo = Housing Construction*. 2016;6:13-15. (In Russ.). EDN: WFAXGX.

12. Malyavina E.G., Frolova A.A. The Choice of Economically Feasible Thermal Protection of Buildings in the North of the Russian Federation. *Zhilishchnoe stroitel'stvo = Housing Construction*. 2022;12:72-78. (In Russ.). <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2022-12-72-78>. EDN: NMLVMK.
13. Dmitriev A.N., Tabunshchikov Yu.A., Kovalev I.N., Shilkin N.V. *Guidelines for Assessing the Economic Efficiency of Investments in Energy-Saving Measures*. Moscow: ABOK-Press; 2005. 120 p. (In Russ.).
14. Prozuments A., Borodinecs A., Odineca T., Nemova D. Long-Term Buildings' Space Heating Estimation Method. In: PROCEEDINGS OF EECE 2019. Energy, Environmental and Construction Engineering. 19-20th November 2019, St. Petersburg. St. Petersburg, 2020. P. 539–550. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42351-3_47. EDN: DESPLS.
15. Fedorov S.S., Klyueva N.V. Control Over the System of Single-Circuit Heat Supply of Buildings and Structures at Dependent Connection to Heating Networks. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo = Industrial and Civil Engineering*. 2016;3:76-79. (In Russ.). EDN: VSEOGL.
16. Stenin V.A. On the Issue of Regulating the Heat Supply System. *Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk = Current problems in the humanities and natural sciences*. 2018;2-2:30-33. (In Russ.). EDN: YNIOTX.
17. Gol'tsov A.B. Setting Up and Adjusting Water Heating Systems. *Santekhnika, otoplenie, konditsionirovanie = Plumbing. Heating. Conditioning. Energy Efficiency*. 2018;8(200):45-62. (In Russ.). EDN: DFQDBC.
18. Pukhkal V.A. The Analysis of Heat Consumption Modes in Serviced Residential Buildings. *Fundamental'nye issledovaniya = Fundamental Research*. 2017;1:106-111. (In Russ.). EDN: XVLQUX.
19. Datsyuk T.A., Grititlin A.M., Anshukova E.A. Assessment of Energy Efficiency Indicators of Buildings. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov = Bulletin of Civil Engineers*. 2018;5(70):141–145. (In Russ.). <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2018-15-5-141-145>. EDN: VOMAMA.
20. Livchak V.I. On the Experimental Assessment of the Energy Efficiency Indicator of Multi-Apartment Buildings. *Energoberezhenie = Energy saving*. 2018;5:32-37. EDN: XTFCNF.
21. Livchak V.I. Actual Heat Consumption of Buildings as an Indicator of Design Quality and Reliability. *AVOK: Ventilyatsiya, otoplenie konditsionirovanie vozdukh, teplosnabzhenie i stroitel'naya fizika = ABOK: Ventilation, Heating, Air Conditioning, Heat Supply and Building Physics*. 2009;2:4-14. Available from: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4239&ysclid=lstwzqeg93853255527 [Accessed 15th January 2023]. (In Russ.).
22. Pukhkal V.A., Shkarovskiy A.L., Chernenkov V.P., Kobzar A.V. Heat Consumption in Residential Buildings for Heating and Ventilation During Operation. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov = Bulletin of Civil Engineers*. 2023;1(96):103-110. (In Russ.). <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2023-20-1-103-110>. EDN: VABXVT.
23. Livchak V.I. The Russian Ministry of Construction Continues to Thwart the Decisions of the Government of the Russian Federation and Federal Law No. 261-FZ. Part 1. *Santekhnika, otoplenie, konditsionirovanie = Plumbing. Heating. Conditioning. Energy Efficiency*. 2020;10(226):50-57. (In Russ.). EDN: UZPACM.
24. Livchak V.I. The New Edition of SP 60.13330.2020 Does Not Allow Correctly Calculating the Heat Load and Annual Heat Consumption of the Building Heating System. *Santekhnika, otoplenie, konditsionirovanie = Plumbing. Heating. Conditioning. Energy Efficiency*. 2021;11(239):64-73. (In Russ.). EDN: FHAIXW.
25. Livchak V.I. Methodology for Calculating Schedules for Regulating Heat Supply to the Heating System. *Santekhnika, otoplenie, konditsionirovanie = Plumbing. Heating. Conditioning. Energy Efficiency*. 2022;1(241):86-92. (In Russ.). EDN: CGYVUE.
26. Livchak V.I. Proposals for the Implementation of Increasing the Energy Efficiency of Housing and Communal Services Buildings in Russia Contrary to the Actions of the Ministry of Construction and the Ministry of Economic Development. *Inzhenernye sistemy = Engineering systems*. 2021;1:24-33. Available from: <https://is-guru.ru/arhiv/18013-%E2%84%961-2021/?ysclid=lstpefbhby962899175> [Accessed 24th November 2023]. (In Russ.).
27. Livchak V.I. Proposals for Standardizing Requirements for Increasing the Energy Efficiency of New Construction Buildings and Housing Stock in Russia. *Energoberezhenie = Energy saving*. 2021;7:20-28. Available from: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=7949 [Accessed 24th November 2023]. (In Russ.).
28. Gasho E.G., Fokin A.M. Analysis of The Dependence of Thermal Energy Spent On Heating and Cooling of Buildings on Various Factors. *Santekhnika, otoplenie, konditsionirovanie = Plumbing. Heating. Conditioning. Energy Efficiency*. 2022;2(242):64-67. (In Russ.). EDN: WPVLLM.
29. Volkov V.A., Tseplyaeva E.V. Block Individual Heating Points. *Santekhnika, otoplenie, konditsionirovanie = Plumbing. Heating. Conditioning. Energy Efficiency*. 2022;10(250):28-33. (In Russ.). EDN: DYHTDR.
30. Brukh S.V. Reconstruction of Engineering Systems of Existing Residential Buildings in Germany. *Santekhnika, otoplenie, konditsionirovanie = Plumbing. Heating. Conditioning. Energy Efficiency*. 2022;7(247):38-42. (In Russ.). EDN: HYUKPT.

Информация об авторах

Аюрова Оюна Бадмацыреновна,
к.т.н., доцент,
заведующая кафедрой теплогазоснабжение,
вентиляция и управление недвижимостью,
Восточно-Сибирский государственный
университет технологий и управления,
670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская 40в,
Республика Бурятия, Россия,
✉e-mail: ayurova17@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2408-6016>
Author ID: 265350

Бадашкеева Екатерина Михайловна,
к.т.н., старший преподаватель кафедры
теплогазоснабжение, вентиляция и
управление недвижимостью,
Восточно-Сибирский государственный
университет технологий и управления,
670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская 40в,
Республика Бурятия, Россия,
e-mail: katya20053@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8637-1651>
Author ID: 266427

Цыбенкова Арина Бэлиktоевна,
магистр,
Восточно-Сибирский государственный
университет технологий и управления,
670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская 40в,
Республика Бурятия, Россия,
e-mail: atsybenova1999@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0007-5154-3071>

Цыбенков Валентин Бэлиktоевич,
аспирант,
Восточно-Сибирский государственный
университет технологий и управления,
670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская 40в,
Республика Бурятия, Россия,
e-mail: tsvben23@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0002-0776-5092>

Танков Василий Игоревич,
студент,
Восточно-Сибирский государственный
университет технологий и управления,
670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская 40в,
Республика Бурятия, Россия,
e-mail: tankov04@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0002-5247-1835>

Information about the authors

Oyuna B. Ayurova,
Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Head of the Department of Heat and Gas Supply,
Ventilation and Real Estate Management,
East Siberia State University of Technology
and Management,
40V Klyuchevskaya St., Ulan-Ude 670013,
Republic of Buryatia, Russia,
✉e-mail: ayurova17@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2408-6016>
Author ID: 265350

Ekaterina M. Badashkeeva,
Cand. Sci. (Eng.), Senior Lecturer
of the Department of Heat and Gas Supply,
Ventilation and Real Estate Management,
East Siberia State University of Technology
and Management,
40V Klyuchevskaya St., Ulan-Ude 670013,
Republic of Buryatia, Russia,
e-mail: katya20053@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8637-1651>
Author ID: 266427

Arina B. Tsybenova,
Master Degree,
East Siberia State University of Technology
and Management,
40V Klyuchevskaya St., Ulan-Ude 670013,
Republic of Buryatia, Russia,
e-mail: atsybenova1999@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0007-5154-3071>

Valentine B. Tsybenov,
Postgraduate Student,
East Siberia State University of Technology
and Management,
40V Klyuchevskaya St., Ulan-Ude 670013,
Republic of Buryatia, Russia,
e-mail: tsvben23@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0002-0776-5092>

Vasilii I. Tankov,
Student,
East Siberia State University of Technology
and Management,
40V Klyuchevskaya St., Ulan-Ude 670013,
Republic of Buryatia, Russia,
e-mail: tankov04@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0002-5247-1835>

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад
в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи

Conflict of interests

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

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

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 25.01.2024.
Одобрена после рецензирования 01.02.2024.
Принята к публикации 02.02.2024.

Information about the article

The article was submitted 25.01.2024.
Approved after reviewing 01.02.2024.
Accepted for publication 02.02.2024.



Воздействие высоких температур на физико-механические характеристики автоклавного газобетона

А.А. Баранова^{1✉}, Е.В. Егоров²

^{1,2}Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск, Россия

Аннотация. Цель работы – определить прочность при сжатии, линейные и объемные деформации автоклавного газобетона средней плотностью 600 кг/м³ после воздействия на него температур в диапазоне 100–800 °С. Пределы прочности при сжатии исследуемых образцов определялись на гидравлическом прессе ИП-100 в соответствии с государственным стандартом ГОСТ 10180 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам». Экспериментально установлено, что после выдерживания образцов газобетона при температуре 100 °С его прочность при сжатии увеличилась на 6,2 %, что связано с потерей избыточной влаги во время нагрева. Дальнейшее повышение температуры до 600 °С существенно не изменило его прочностную характеристику. При увеличении температуры испытания до 800 °С остаточная прочность при сжатии образцов составила в среднем 62,6 % от прочности контрольных образцов. Изменения линейных размеров образцов начинаются при температуре 300 °С и вплоть до температуры 600 °С они не превышают 1,56 % от первоначальных значений. Дальнейшее повышение температуры до 800 °С уменьшает линейные размеры газобетонных образцов до 15,15 %. Объемные деформации образцов автоклавного газобетона при 300–600 °С не превысили 5 %, а при 700–800 °С они составили 25–38,9 %. Исследуемый газобетон может выдерживать высокие температуры до 600 °С без значительных изменений своих физико-механических характеристик.

Ключевые слова: огнеупорность, высокие температуры, автоклавный газобетон, прочность при сжатии, линейные деформации, объемные деформации

Для цитирования: Баранова А.А., Егоров Е.В. Воздействие высоких температур на физико-механические характеристики автоклавного газобетона // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 1. С. 46–55. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-1-46-55>. EDN: AIBDFG.

Original article

Effects of high temperatures on physico-mechanical characteristics of autoclaved aerated concrete

Albina A. Baranova^{1✉}, Evgeniy V. Egorov²

^{1,2}Angarsk State Technical University, Angarsk, Russia

Abstract. The study aims to determine the compressive strength, as well as linear and volumetric deformations of autoclaved aerated concrete with an average density of 600 kg/m³ after holding at temperatures in the range of 100–800 °C. The compressive strength of test samples was determined using an IP-100 hydraulic press in accordance with the state standard GOST 10180 “Concretes. Methods for determining the strength of control samples” State Standard. It was experimentally established that after holding aerated concrete samples at a temperature of 100 °C, its compressive strength increased by 6.2 %, which is associated with the loss of an excess moisture during heating. A further increase in the temperature to 600 °C insignificantly affects its strength characteristics. At an increase in the test temperature to 800 °C, the residual compressive strength of samples averaged 62.6 % of the control sample strength. Linear dimensions of samples begin to vary at a temperature of 300 °C and do not exceed 1.56 % of initial values up to a temperature of 600 °C. A further increase in the temperature to 800 °C

reduces the linear dimensions of aerated concrete samples by 15.15 %. Volumetric deformations of autoclaved aerated concrete samples in the temperature range of 300–600 °C are less than 5 %, while, for the temperature of 700–800 °C, they range from 25 % to 38.9 %. The studied aerated concrete can withstand high temperatures up to 600 °C without significant variations in its physical and mechanical characteristics.

Keywords: fire resistance, high temperatures, autoclaved aerated concrete, compressive strength, linear deformations, volumetric deformations

For citation: Baranova A.A., Egorov E.V. Effects of high temperatures on physico-mechanical characteristics of autoclaved aerated concrete. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(1):46-55. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-1-46-55>. EDN: AIBDFG.

ВВЕДЕНИЕ

Газобетон автоклавного твердения в зависимости от средней плотности широко используется как для изготовления ограждающих конструкций, так и для производства различных теплоизоляционных изделий, которые при эксплуатации могут подвергаться воздействию высоких температур, вызывающих снижение их несущей способности.

Воздействие высокой температуры может проявиться вследствие возникновения и развития пожара или в случаях устройства теплоизоляции при высокотемпературных технологических процессах. При этом снижение прочности и жесткости материала происходит из-за нарушения и изменения структуры затвердевшего портландцемента.

Научные разработки в области работы бетонов в экстремальных температурных режи-

мах активно ведутся многими исследователями [1–30].

Цель работы – определить влияние высоких температур на такие характеристики автоклавного газобетона, как прочность при сжатии, линейные и объемные деформации образцов.

МЕТОДЫ

В экспериментах использовались кубы с размером ребра 70 мм, выпиленные из блоков автоклавного газобетона средней плотностью 600 кг/м³.

Испытания проводились в следующей последовательности. Исследуемые образцы помещались в муфельную печь марки СНОЛ (рис. 1), постепенно нагревались до заданной температуры и выдерживались при ней в течение 4 ч с последующим медленным остыванием.



Рис. 1. Муфельная печь с образцами
Fig. 1. Muffle furnace with samples

Диапазон высоких температур составлял 100–800 °С. До и после испытания у каждого образца измерялись линейные размеры и масса.

Прочность при сжатии остывших после испытания образцов определялась в соответствии с ГОСТ 10180 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам»¹.

Результаты испытаний представлены в таблице и на рис. 2–8.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты испытаний представлены в таблице и на рис. 2–8.

Характеристики образцов автоклавного газобетона после воздействия на них высоких температур
Characteristics of autoclaved aerated concrete samples after exposure to high temperatures

Температура, °С	Прочность при сжатии, МПа	Средняя плотность, кг/м ³	Потери массы образцов, %	Линейные деформации, %	Объемные деформации, %
0	2,9	586	0	0	0
100	3,08	504	19,1	0	0
200	2,96	492	25,7	0	0
300	3,47	485	26,2	0,55	1,65
400	2,84	476	30,1	0,93	2,76
500	2,73	474	31,9	1,27	3,76
600	2,95	473	33,4	1,56	4,6
700	1,67	599	35,5	9,26	25
800	1,96	724	36,1	15,15	38,9

Данные таблицы показывают, что после выдерживания образцов газобетона при температуре 100 °С прочность при сжатии увеличилась на 6,2 %, что связано с потерей избыточной влаги во время нагрева. Дальнейшее повышение температуры до 600 °С не существенно изменяет прочностную характеристику. При увеличении температуры испытания до

800 °С в связи с распадом гидроокиси кальция цементного камня происходит значительное снижение прочности, остаточная прочность при сжатии образцов составила в среднем 62,6 % от прочности контрольных образцов. После испытания образцов при 100–600 °С трещины и видимые дефекты на них не были обнаружены (рис. 2).

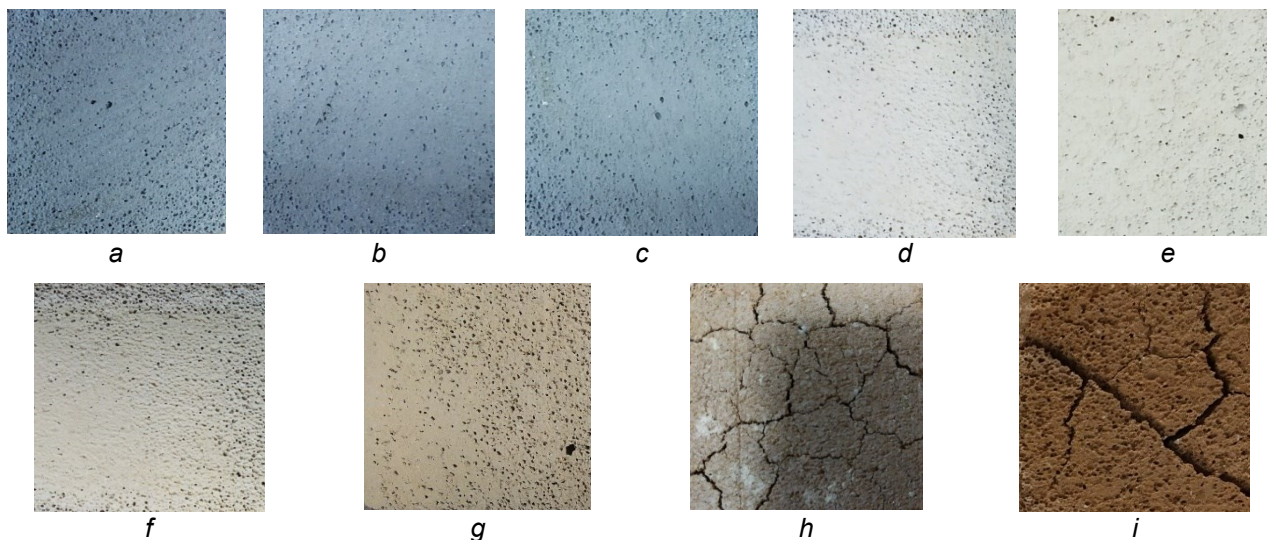


Рис. 2. Поверхность образцов автоклавных газобетонов при воздействии на них высоких температур:

a – контрольный образец; b – после 100 °С; c – после 200 °С; d – после 300 °С;

e – после 400 °С; f – после 500 °С; g – после 600 °С; h – после 700 °С; i – после 800 °С

Fig. 2. The surface of autoclaved aerated concrete samples after exposure to high temperatures:

a – control sample; b – after 100 °С; c – after 200 °С; d – after 300 °С;

e – after 400 °С; f – after 500 °С; g – after 600 °С; h – after 700 °С; i – after 800 °С

¹ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. М.: Стандартинформ, 2018. 32 с.

При увеличении температуры до 700–800 °С на образцах появляются глубокие трещины, нарушается их геометрия, появляются различного рода искривления, вздутия поверхности (рис. 3).

Зависимость прочности при сжатии газобетонных образцов ($R_{сж}$, МПа) от температуры нагрева в диапазоне воздействия 0–800 °С (рис. 4) имеет следующий вид:

$$R_{сж} = -0,000004 \cdot t^2 + 0,002 \cdot t + 2,9067, \quad (1)$$

где t – температура, °С.

Изменение средней плотности (ρ_m , кг/м³) газобетонных образцов под действием высоких температур в диапазоне 0–600 °С (рис. 5) описывается следующим уравнением:

$$\rho_m = 0,0005 \cdot t^2 - 0,4704 \cdot t + 569,88, \quad (2)$$

где t – температура, °С.



a



b

Рис. 3. Образцы после нагрева: а – до температуры 700 °С; б – до температуры 800 °С
Fig. 3. Samples after heating: a – to a temperature of 700 °С; b – to a temperature of 800 °С

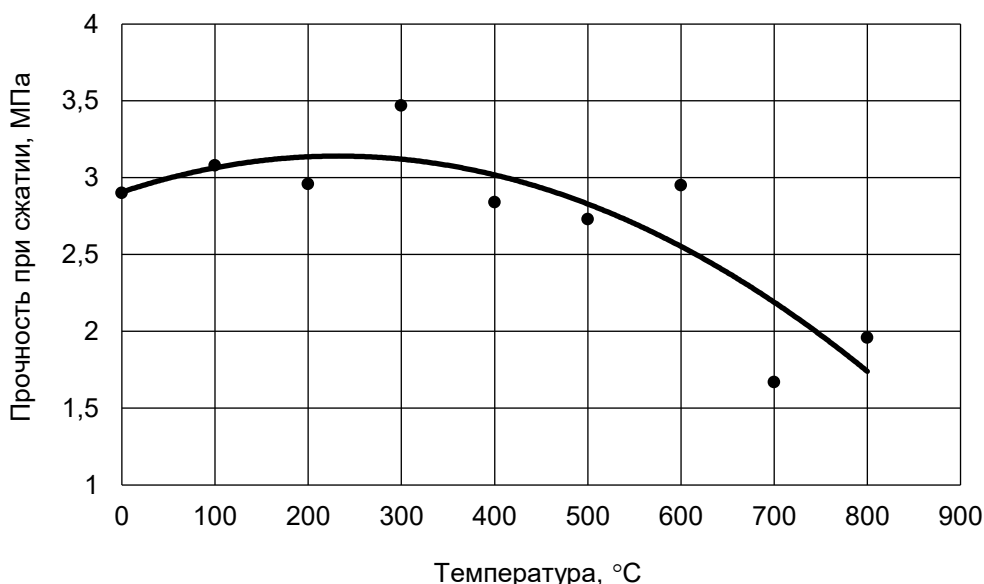


Рис. 4. Прочность при сжатии газобетонных образцов в зависимости от температуры испытания
Fig. 4. Compressive strength of aerated concrete samples depending on the test temperature

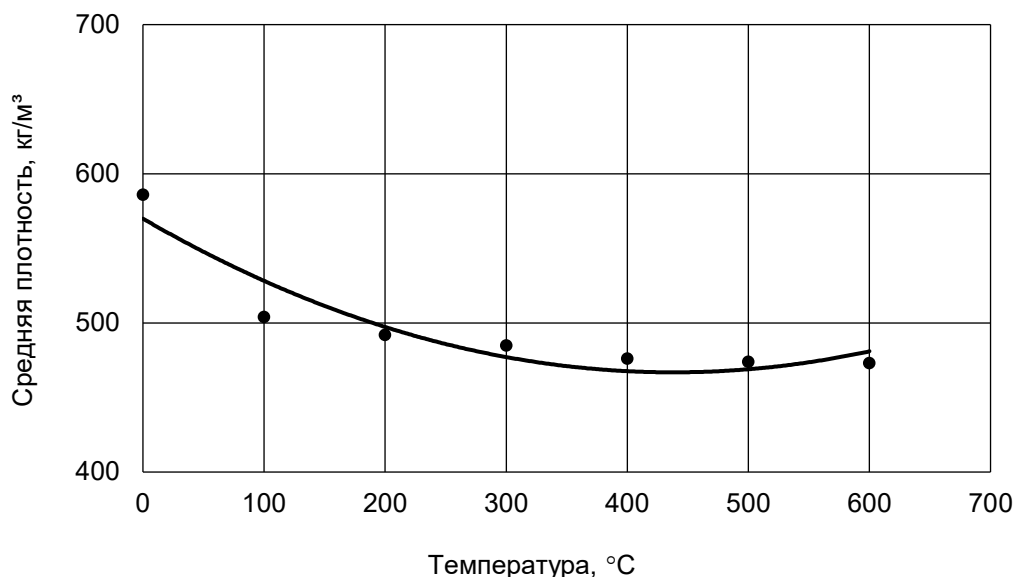


Рис. 5. Средняя плотность газобетонных образцов в зависимости от температуры испытания

Fig. 5. Average density of aerated concrete samples depending on the test temperature

График на рис. 6 показывает, что при нагреве до 800 °C образцы потеряли в массе до 36,1 %. По данным таблицы и по графику, изображенному на рис. 7, видно, что изменения линейных размеров образцов начинаются при 300 °C и до 600 °C они не превышают 1,56 % от первоначальных значений (до испытания).

При дальнейшем повышении температуры до 800 °C линейные размеры газобетонных образцов уменьшаются до 15,15 %.

Объемные деформации образцов автоклавного газобетона (см. рис. 8) начали проявляться при 300 °C. При 300–600 °C они не превысили 5 %, а при 700–800 °C объемные деформации составили 25–38,9 %.

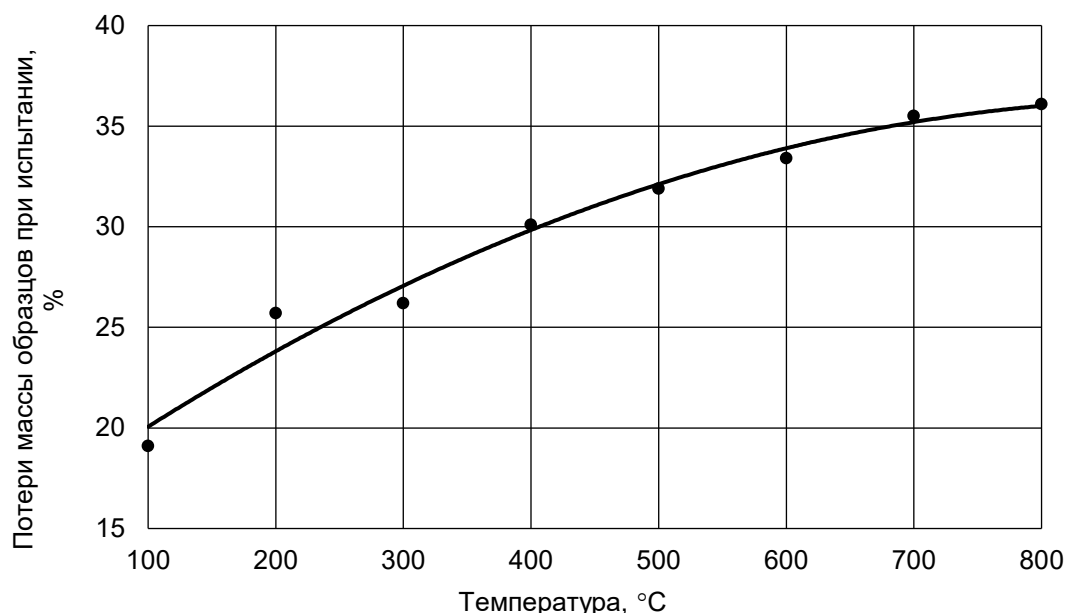


Рис. 6. Потери массы образцов автоклавного газобетона под действием высоких температур

Fig. 6. Mass loss of autoclaved aerated concrete samples under the influence of high temperatures

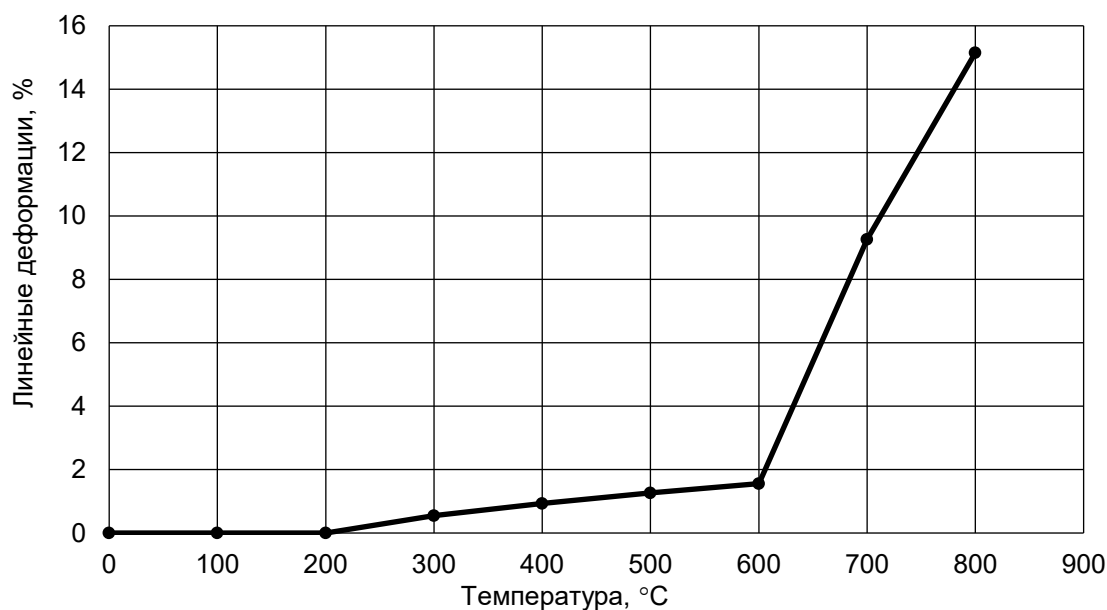


Рис. 7. Линейные деформации газобетонных образцов в зависимости от температуры испытания
Fig. 7. Linear deformations of aerated concrete samples depending on the test temperature

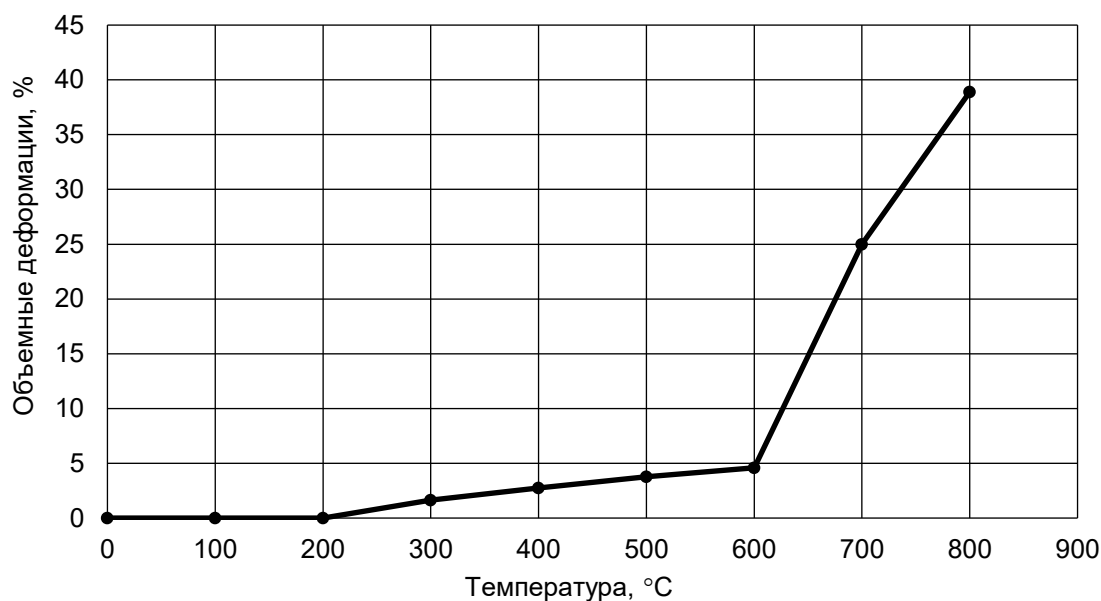


Рис. 8. Объемные деформации образцов автоклавного газобетона под действием высоких температур
Fig. 8. Volumetric deformations of autoclaved aerated concrete samples under the influence of high temperatures

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований можно сделать вывод, что автоклавный газобетон средней плотностью 600 кг/м³ может выдерживать температуру до 600 °C без существенной потери прочности при сжатии, при этом линейные деформации не превы-

шают 1,56 %, а объемные – 4,6 % от первоначальных значений.

По полученным результатам выведены математические выражения, позволяющие рассчитать предел прочности при сжатии автоклавного газобетона и его среднюю плотность в зависимости изменения температуры.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Upasiri I.R., Konthesingha K.M.C., Poologanathan K., Nanayakkara S.M.A., Nagaratnam B. Review on Fire Performance of Cellular Lightweight Concrete // Lecture notes in civil engineering. 2020. 44. P. 470–478.
2. Kodur V. Properties of concrete at elevated temperatures // International scholarly research notices. 2014. Vol. 2014. P. 468510. <https://doi.org/10.1155/2014/468510>.
3. Shin K.-Y., Kim S.-B., Kim J.-H., Chung M., Jung P.-S. Thermo-physical properties and transient heat transfer of concrete at elevated temperatures // Nuclear engineering and design. 2002. Vol. 212. Iss. 1-3. P. 233–241. [https://doi.org/10.1016/S0029-5493\(01\)00487-3](https://doi.org/10.1016/S0029-5493(01)00487-3).
4. Khaliq W., Kodur V. High temperature mechanical properties of high-strength fly ash concrete with and without fibers // ACI Materials Journal. 2012. Vol. 109. Iss. 6. P. 665–674. <https://doi.org/10.14359/51684164>.
5. Kalifa P., Chéné G., Gallé C. High-temperature behaviour of HPC with polypropylene fibres - From spalling to microstructure // Cement and concrete research. 2001. Vol. 31. Iss. 10. P. 1487–1499. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(01\)00596-8](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(01)00596-8).
6. Kodur V.K.R., Sultan M.A. Effect of temperature on thermal properties of high-strength concrete // Journal of materials in civil engineering. 2003. Vol. 15. Iss. 2. P. 101–107. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2003\)15:2\(101\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2003)15:2(101)).
7. Kodur V., Khaliq W. Effect of temperature on thermal properties of different types of high-strength concrete // Journal of Materials in Civil Engineering. 2011. Vol. 23. Iss. 6. P. 793–801. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000225](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000225).
8. Canbaz M., Dakman H., Arslan B., Büyüksungur A. The effect of high-temperature on foamed concrete // Computers and Concrete. 2019. Vol. 24. Iss. 1. P. 1–6. <https://doi.org/10.12989/cac.2019.24.1.001>.
9. Al Saffar D.M., Al Quraishy Q.A. Strength of lightweight aggregate foamed concrete exposed to elevated temperatures // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2019. Vol. 13. Iss. 12. P. 3880–3886.
10. Othuman Mydin M.A., Wang Y.C. Thermal and mechanical properties of lightweight foamed concrete at elevated temperatures // Magazine of concrete research. 2012. Vol. 64. Iss. 3. P. 213–224. <https://doi.org/10.1680/mac.10.00162>.
11. Li Long-yuan, Purkiss J. Stress-strain constitutive equations of concrete material at elevated temperatures // Fire Safety Journal. 2005. Vol. 40. Iss. 7. P. 669–686. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2005.06.003>.
12. Othuman Mydin M.A. Lightweight foamed concrete thermal and mechanical properties at elevated temperatures and its application to composite walling system. School of Mechanical, Aerospace and Civil Engineering, 2010. 281 p.
13. Khoury G.A. Compressive strength of concrete at high temperatures: A reassessment // Magazine of Concrete Research. 1992. Vol. 44. Iss. 161. P. 291–309. <https://doi.org/10.1680/mac.1992.44.161.291>.
14. Rostásy F.S., Weiß R., Wiedemann G. Changes of pore structure of cement mortars due to temperature // Cement and concrete research. 1980. Vol. 10. Iss. 2. P. 157–164. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(80\)90072-1](https://doi.org/10.1016/0008-8846(80)90072-1).
15. Lin Wei-ming, Lin T., Powers-Couche L. Microstructures of fire-damaged concrete // ACI Materials Journal. 1996. Vol. 93. Iss. 3. P. 199–205. <https://doi.org/10.14359/9803>.
16. Киценко Т.П., Мартынова В.Б., Кабанцова А.Р. Исследование огнеупорности и показателей температуры деформации под нагрузкой алюмосиликатных и кремнеземистых бетонов на основе жидкого стекла // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2016. № 1 (117). С. 40–44. EDN: YFMJRH.
17. Абдрахимов В.З., Абдрахимова Е.С. Жаростойкий бетон на основе ортофосфорной кислоты, отходов цветной металлургии и химической промышленности // Construction and Geotechnics. 2021. Т. 12. № 1. С. 72–85. <https://doi.org/10.15593/2224-9826/2021.1.06>. EDN: EXRMRG.
18. Жугинисов М.Т., Мырзахметов М.М., Сартаев Д.Т., Орынбеков Е.С. Жаростойкий бетон на основе феррохромового шлака // Инженерно-строительный журнал. 2014. № 7 (51). С. 38–45. <https://doi.org/10.5862/MCE.51.5>. EDN: SYSMUR.
19. Курбанов Р.М., Хаджишалапов Г.Н., Жежев Т.А. Исследование жаростойкого бетона на основе базальтового заполнителя для обетонирования металлических конструкций // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2013. № 4 (31). С. 61–65. EDN: RWASFR.
20. Хлыстов А.И., Исаев Д.И., Подгорная Д.А. Жаростойкие композиции на основе отходов предприятий керамической промышленности // Градостроительство и архитектура. 2018. Т. 8. № 4 (33). С. 56–60. <https://doi.org/10.17673/Vestnik.2018.04.10>. EDN: YXJKEH.

21. Абдрахимов В.З., Абдрахимова Е.С. Использование отходов цветной металлургии в производстве жаростойкого бетона на основе фосфорной кислоты // Химическая технология. 2021. Т. 22. № 5. С. 214–222. <https://doi.org/10.31044/1684-5811-2021-22-5-214-222>. EDN: XFULOU.
22. Ефремов А.Н., Киценко Т.П. Методологические основы повышения термомеханических свойств огнеупорных вяжущих и бетонов на основе жидкого стекла // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2016. № 3 (119). С. 27–31.
23. Нгуен Т.К., Кудряшов В.А. Огнестойкость автоклавного ячеистого бетона на основе экспериментальных диаграмм деформирования после высокотемпературного нагрева // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. 2016. № 2 (24). С. 10–19. EDN: WEZNNR.
24. Соколова С.В., Баранова М.Н., Васильева Д.И., Холопов Ю.А. Перспективы применения промышленных отходов для повышения долговечности и огнеупорности жаростойких бетонов // Строительство и реконструкция. 2023. № 2 (106). С. 123–133. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2023-106-2-123-133>. EDN: ANWVDP.
25. Upasiri I.R., Konthesingha K.M.C., Poologanathan K., Nanayakkara S.M.A., Nagaratnam B. Review on fire performance of cellular lightweight concrete // International Conference on Sustainable Built Environment (ICSBE-2018). Singapore. Springer, 2018. Vol. 44, https://doi.org/10.1007/978-981-13-9749-3_41.
26. Awoyera P., Onoja E., Adesina A. Fire resistance and thermal insulation properties of foamed concrete incorporating pulverized ceramics and mineral admixtures // Asian Journal of Civil Engineering. 2020. Vol. 21. P. 147–156. <https://doi.org/10.1007/s42107-019-00203-4>.
27. Lu Feng, Xudong Chen, Yingjie Ning, Jiajia Wang, Wei Zhang. High temperature effect of foamed concrete under equal displacement increment triaxial cyclic compression // Construction and Building Materials. 2022. Vol. 327. P. 126989. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126989>.
28. Dawood E.Th., Al-Attar A.A., Abbas W.A., Mohammad Ya.Z. Behavior of foamed concrete reinforced with hybrid fibers and exposed to elevated temperatures // SN Applied Sciences. 2020. Vol. 2. P. 84 <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1856-7>.
29. Jun Xian Tan, Weizhong Chen, Jiahong Wang, Diansen Yang, Xianyin Qi, Yongshang Ma, et al. Influence of high temperature on the residual physical and mechanical properties of foamed concrete // Construction and building materials. 2017. Vol. 135. P. 203–211. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.223>.
30. Chen Longyang, Li Penghui, Guo W.G., Ruifeng Wang, Dongjian Zh., Gao M., et al. Experimental investigation of the dynamic mechanical properties of polypropylene-fiber-reinforced foamed concrete at high temperatures // Polymers. 2023. Vol. 15. Iss. 11. P. 2544. <https://doi.org/10.3390/polym15112544>.

REFERENCES

1. Upasiri I.R., Konthesingha K.M.C., Poologanathan K., Nanayakkara S.M.A., Nagaratnam B. Review on Fire Performance of Cellular Lightweight Concrete. *Lecture notes in civil engineering*. 2020;44:470-478.
2. Kodur V. Properties of concrete at elevated temperatures. *International scholarly research notices*. 2014;2014:468510. <https://doi.org/10.1155/2014/468510>.
3. Shin K.-Y., Kim S.-B., Kim J.-H., Chung M., Jung P.-S. Thermo-physical properties and transient heat transfer of concrete at elevated temperatures. *Nuclear engineering and design*. 2002;212(1-3):233-241. [https://doi.org/10.1016/S0029-5493\(01\)00487-3](https://doi.org/10.1016/S0029-5493(01)00487-3).
4. Khaliq W., Kodur V. High temperature mechanical properties of high-strength fly ash concrete with and without fibers. *ACI Materials Journal*. 2012;109(6):665-674. <https://doi.org/10.14359/51684164>.
5. Kalifa P., Chéné G., Gallé C. High-temperature behaviour of HPC with polypropylene fibres - From spalling to microstructure. *Cement and concrete research*. 2001;31(10):1487-1499. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(01\)00596-8](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(01)00596-8).
6. Kodur V.K.R., Sultan M.A. Effect of temperature on thermal properties of high-strength concrete. *Journal of materials in civil engineering*. 2003;15(2):101-107. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2003\)15:2\(101\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2003)15:2(101)).
7. Kodur V., Khaliq W. Effect of temperature on thermal properties of different types of high-strength concrete. *Journal of materials in civil engineering*. 2011;23(6):793-801. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000225](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000225).
8. Canbaz M., Dakman H., Arslan B., Büyüksungur A. The effect of high-temperature on foamed concrete. *Computers and concrete*. 2019;24(1):1-6. <https://doi.org/10.12989/cac.2019.24.1.001>.
9. Al Saffar D.M., Al Quraishy Q.A. Strength of lightweight aggregate foamed concrete exposed to elevated temperatures. *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2019;13(12):3880-3886.
10. Othuman Mydin M.A., Wang Y.C. Thermal and mechanical properties of lightweight foamed concrete at elevated temperatures. *Magazine of concrete research*. 2012;64(3):213-224. <https://doi.org/10.1680/mac.10.00162>.

11. Li Long-yuan, Purkiss J. Stress-strain constitutive equations of concrete material at elevated temperatures. *Fire Safety Journal*. 2005;40(7):669-686. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2005.06.003>.
12. Othuman Mydin M.A. Lightweight foamed concrete thermal and mechanical properties at elevated temperatures and its application to composite walling system. School of Mechanical, Aerospace and Civil Engineering; 2010. 281 p.
13. Khoury G.A. Compressive strength of concrete at high temperatures: A reassessment. *Magazine of Concrete Research*. 1992;44(161):291-309. <https://doi.org/10.1680/mac.1992.44.161.291>.
14. Rostásy F.S., Weiß R., Wiedemann G. Changes of pore structure of cement mortars due to temperature. *Cement and concrete research*. 1980;10(2):157-164. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(80\)90072-1](https://doi.org/10.1016/0008-8846(80)90072-1).
15. Lin Wei-ming, Lin T., Powers-Couche L. Microstructures of fire-damaged concrete // *ACI Materials Journal*. 1996. Vol. 93. Iss. 3. P. 199–205. <https://doi.org/10.14359/9803>.
16. Kitsenko T., Martynova V., Kabansova A. The study of fire resistance and temperature deformation under load of alumina-silicate and siliceous concretes on the basis of liquid glass. *Vestnik Donbasskoi nacionalnoi akademii stroitelstva i arhitektury = Proceeding of the Donbas national academy of civil engineering and architecture*. 2016;1:40-44. (In Russ.). EDN: YFMJRH.
17. Abdrakhimov V.Z., Abdrakhimova E.S. Heat-resistant concrete based on orthophosphoric acid, waste of non-ferrous metallurgy and chemical industry. *Construction and Geotechnics*. 2021;12(1):72-85. (In Russ.). <https://doi.org/10.15593/2224-9826/2021.1.06>. EDN: EXRMRG.
18. Zuginisov M.T., Myrzahmetov M.M., Sartayev D.T., Orynbekov E.S. Heat-resistant ferrochrome slag based concrete. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal = Magazine of civil engineering*. 2014;7:38-45. (In Russ.). <https://doi.org/10.5862/MCE.51.5>. EDN: SYSMUR.
19. Curbanov R.M., Hadgishalapov G.N., Hegev T.A. Research of heat-resistant concrete on the basis of basalt filler for concreting of metal designs. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki = Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences*. 2013;4:61-65. (In Russ.). EDN: RWASFR.
20. Khlystov A.I., Isaev D.I., Podgornaya D.A. Heat-resistant compositions based on waste from ceramic industry enterprises. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura = Urban construction and architecture*. 2018;8(4):56-60. (In Russ.). <https://doi.org/10.17673/Vestnik.2018.04.10>. EDN: YXJKEH.
21. Abdrakhimov V.Z., Abdrakhimova E.S. The use of non-ferrous metallurgy waste in the production of heat-resistant concrete based on phosphoric acid. *Khimicheskaya tekhnologiya = Chemical technology*. 2021;22(5):214-222. (In Russ.). <https://doi.org/10.31044/1684-5811-2021-22-5-214-222>. EDN: XFULOU.
22. Yefremov O.I., Kitsenko T.I. Methodological basis for the improvement of thermomechanical properties of refractory binders and concretes based on liquid glass. *Vestnik Donbasskoi nacionalnoi akademii stroitelstva i arhitektury = Proceeding of the Donbas national academy of civil engineering and architecture*. 2016;3:27-31. (In Russ.). EDN: YQPLDF.
23. Nguyen T.K., Kudryashov V.A. Autoclaved aerated concrete fire resistance based on stress-strain diagrams after high heating. *Vestnik Komandno-inzhenernogo instituta MChS Respubliki Belarus'*. 2016;2:10-19. (In Russ.). EDN: WEZNNR.
24. Sokolova S.V., Baranova M.N., Vasilieva D.I., Kholopov Yu.A. Possibilities of using industrial waste to improve heat resistant concrete durability and refractoriness. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya = Building and reconstruction*. 2023;2:123-133. (In Russ.). <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2023-106-2-123-133>. EDN: ANWVDP.
25. Upasiri I.R., Konthesingha K.M.C., Poologanathan K., Nanayakkara S.M.A., Nagaratnam B. Review on fire performance of cellular lightweight concrete. *International Conference on Sustainable Built Environment (ICSBE-2018)*. Singapore. Springer; 2018. Vol. 44, https://doi.org/10.1007/978-981-13-9749-3_41.
26. Awoyera P., Onoja E., Adesina A. Fire resistance and thermal insulation properties of foamed concrete incorporating pulverized ceramics and mineral admixtures. *Asian Journal of Civil Engineering*. 2020;21:147-156. <https://doi.org/10.1007/s42107-019-00203-4>.
27. Lu Feng, Xudong Chen, Yingjie Ning, Jiajia Wang, Wei Zhang. High temperature effect of foamed concrete under equal displacement increment triaxial cyclic compression. *Construction and Building Materials*. 2022;327:126989. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126989>.
28. Dawood E.Th., Al-Attar A.A., Abbas W.A., Mohammad Ya.Z. Behavior of foamed concrete reinforced with hybrid fibers and exposed to elevated temperatures. *SN Applied Sciences*. 2020;2:84 <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1856-7>.
29. Jun Xian Tan, Weizhong Chen, Jiahong Wang, Diansen Yang, Xianyin Qi, Yongshang Ma, et al. Influence of high temperature on the residual physical and mechanical properties of foamed concrete. *Construction and building materials*. 2017;135:203-211. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.223>.
30. Chen Longyang, Li Penghui, Guo W.G., Ruifeng Wang, Dongjian Zh., Gao M., et al. Experimental investigation of the dynamic mechanical properties of polypropylene-fiber-reinforced foamed concrete at high temperatures. *Polymers*. 2023;15(11):2544. <https://doi.org/10.3390/polym15112544>.

Информация об авторах

Баранова Альбина Алексеевна,
к.т.н., доцент,
доцент кафедры промышленного
и гражданского строительства,
Ангарский государственный
технический университет,
665835, г. Ангарск, кв-л 85а, д. 5, Россия,
✉e-mail: baranova2012aa@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5939-3334>
Author ID: 680451

Егоров Евгений Владимирович,
ассистент кафедры промышленного
и гражданского строительства,
Ангарский государственный
технический университет,
665835, г. Ангарск, кв-л 85а, д. 5, Россия,
e-mail: Evgeniy.som@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2843-6917>

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 30.11.2023.
Одобрена после рецензирования 22.12.2023.
Принята к публикации 28.12.2023.

Information about the authors

Albina A. Baranova,
Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Industrial and Civil Engineering,
Angarsk State
Technical University,
5, 85a district, Angarsk 665835, Russia,
✉e-mail: baranova2012aa@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5939-3334>
Author ID: 680451

Evgeniy V. Egorov,
Assistant of the Department of Industrial
and Civil Engineering,
Angarsk State
Technical University,
5, 85a district, Angarsk 665835, Russia,
e-mail: Evgeniy.som@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2843-6917>

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Conflict of interests

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

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

Information about the article

The article was submitted 30.11.2023.
Approved after reviewing 22.12.2023.
Accepted for publication 28.12.2023.



Исследование индекса качества городской среды для жилых микрорайонов г. Иркутска

О.А. Гребнева^{1✉}, О.Л. Лавыгина²

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

¹Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, г. Иркутск, Россия

Аннотация. В настоящее время создание комфортной и качественной городской среды является одной из составляющей стратегического развития отрасли строительства и жилищно-коммунального хозяйства. В работе приведены возможные критерии, применяемые для оценки качества городской среды жилых микрорайонов городов. Инженерное благоустройство, в частности, водоснабжение и отведение сточных вод, является одним из ключевых показателей качества городской среды. Дополнительным фактором, влияющим на уровень комфортности населенного пункта, является степень его оснащенности социально-бытовыми объектами. Наличие последних существенно повышают качество повседневной жизни населения города, влияя на уровень развития рассматриваемой территории и степень удовлетворения физических и социальных потребностей людей. В статье проведена оценка уровня оснащенности социально-бытовыми объектами на примере одного из микрорайонов города Иркутска, а также проанализирована значимость водоснабжения и водоотведения в системе благоустройства. На основе анализа полученных данных предложены мероприятия по повышению уровня комфортности исследуемого микрорайона. Результаты проведенного в работе исследования могут быть использованы жилищно-коммунальными структурами разного уровня для повышения качества городской среды территорий жилых микрорайонов городов. В данной статье на примере одного из микрорайонов города Иркутска проведен анализ территориальной доступности необходимых для комфортного проживания населения предприятий и организаций, выявлен недостаток объектов и выполнен проект по их размещению.

Ключевые слова: городская среда, комфортная среда, сточная вода, индекс качества городской среды, социально-бытовые объекты, строительство, жилищно-коммунальное хозяйство

Для цитирования: Гребнева О.А., Лавыгина О.Л. Исследование индекса качества городской среды для жилых микрорайонов г. Иркутска // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 1. С. 56–69. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-1-56-69>. EDN: XOUKAF.

Original article

Study of the urban environment quality index for Irkutsk residential districts

Oksana A. Grebneva^{1✉}, Olga L. Lavygina²

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

¹Energy Systems Institute SB RAS, Irkutsk, Russia

Abstract. Currently, creating a comfortable and high-quality urban environment is one component of the strategic development of the construction industry, as well as housing and communal services. The paper presents possible criteria used to assess the urban environment quality of residential neighborhoods in cities. Engineering improvement, in particular water supply and sewerage, is one of the key indicators of urban environment quality. An additional factor influencing the comfort level of a settlement is the quantity of public amenities and welfare facilities it provides. Their availability

significantly improves the everyday life quality of the city population affecting the development level of the territory in question and the extent to which physical and social human wants are satisfied. The study assesses the level of provision of public amenities and welfare facilities on the example of one Irkutsk residential district (microdistrict). Moreover, it also analyzes the importance of water supply and sewerage in the municipal improvement system. Based on the analysis of the obtained data, the article proposes measures to improve the comfort level of the residential district under study. The results of the research can be used by housing and utility sector organizations at various levels to improve the urban environment quality of residential districts in cities. Drawing on the example of one residential district in Irkutsk, this article analyzes the territorial accessibility of enterprises and organizations necessary for comfortable living of the population. Additionally, the study identifies missing facilities and designs a project for their location.

Keywords: urban environment, comfortable environment, safety criteria, quality index of the urban environment, social facilities, construction, housing and communal services

For citation: Grebneva O.A., Lavygina O.L. Study of the urban environment quality index for Irkutsk residential districts. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(1):56-69. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-1-56-69>. EDN: XOUKAF.

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях для оценки качества городской среды используется комплексный показатель, который характеризует как санитарное состояние селитебной территории (в т. ч. состояние системы отведения поверхностного стока), озеленение, наличие малых архитектурных форм, так и доступность объектов социальной инфраструктуры. Для микрорайонов городов к социально-бытовым объектам относятся: образовательные и медицинские учреждения, организации по социальному обслуживанию населения, спортивные и физкультурно-оздоровительные сооружения, учреждения культуры и искусства, торговые организации, финансовые учреждения и предприятия по бытовому обслуживанию.

В современных условиях при интенсивном развитии населенных пунктов предполагается повышение качества городской среды [1–6]. При этом городская среда понимается как совокупность территорий, занятых жилищным фондом и открытых городских пространств¹.

Во многих городах проводятся исследования по оценке комфортности городской среды [7–14]. Результаты изучения опыта ранжирования качества городской среды в других странах приведены в работе [15], где было выявлено три фактора для устойчивого развития: социальный (здравоохранение, образование, досуг и др.), экономический (стабильность, уличная инфраструктура и др.), экологический (климат, озеленение). Как показыва-

ют исследования некоторых авторов [16–18] экологическое состояние городской среды является неотъемлемой частью системы благоустройства. Следует отметить, что система отведения поверхностного стока как самостоятельный фактор благоустройства не учитывается при проведении оценки комфортности городской среды. Для оценки благоустройства жилых районов в работе [9,12–13] предлагается использовать комплексный подход на основе двух концепций территориального маркетинга. Описанные в существующей литературе критерии и подходы для анализа качества городской среды жилых микрорайонов городов использовались в представленных ниже исследованиях.

Целью данного исследования является определение уровня социально-бытового благоустройства жилых микрорайонов городов на примере микрорайона города Иркутска.

СОДЕРЖАТЕЛЬНАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

С 2017 г. в Российской Федерации (РФ) действует федеральный проект «Формирование комфортной городской среды», целью которого является повышение уровня благоустройства и безопасности. Для проведения комплексной оценки качества городской среды разработана методика, которая позволяет определить индекс качества городской среды². На рис. 1 представлена карта распределения индекса городской среды по территории РФ.

¹Свод принципов комплексного развития городских территорий. Книга 1. М.: ДОМ РФ, STRELKA КБ, 2019. 283 с.

²Руководство по определению первоочередных направлений развития городской среды с помощью индекса качества городской среды. 94 с.

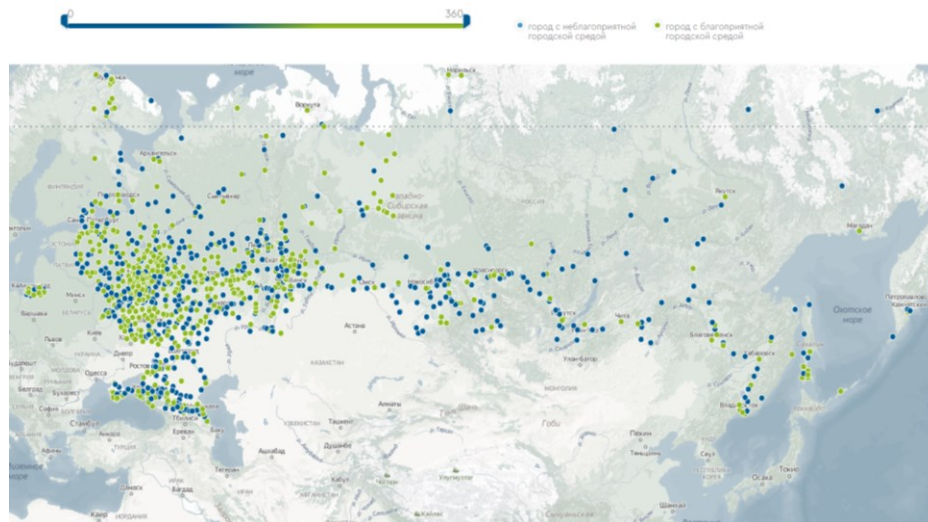


Рис. 1. Карта распределения индекса городской среды по территории Российской Федерации
Fig. 1. Map of the distribution of the urban environment index on the territory of the Russian Federation

Для определения индекса качества городской среды используется матрица из 36 индикаторов, которая позволяет учитывать факторы «пространства» и «критерии оценки». Использование индекса позволяет не только оценить качество городской среды, но и

сформировать комплекс мероприятий по ее улучшению (рис. 2). Следует отметить, что система отведения поверхностного стока как самостоятельный фактор не учитывается, а входит в группу «жилье и прилегающие пространства».

Пространства

Жилье и прилегающие пространства: - многоквартирные жилые дома; - индивидуальный жилой сектор.	Озелененные пространства: - парки; - скверы; - озелененные набережные; - сады и др.
Общественно-деловая инфраструктура и прилегающие пространства: - объекты сервисов и услуг.	Социально-досуговая инфраструктура: - общественные центры и прилегающие пространства.
Улично-дорожная сеть: - улицы; - проезды; - набережные; - пешеходные пути и переходы.	Общегородское пространство: - вся территория в городских границах, в т.ч. рекреационные, селитебные и общественные территории

Критерии оценки

Безопасность - позволяет оценить уровень безопасности при посещении общественных пространств, социальных объектов.	Комфортность - оценивает удобство и доступность городских пространств для осуществления повседневной деятельности.
Экологичность и здоровье - анализирует факторы, воздействующие экологическую обстановку.	Идентичность и разнообразие - позволяет оценить своеобразие и узнаваемость городских территорий.
Современность и актуальность среды - определяет возможности, которые муниципалитет предоставляет жителям.	Эффективность управления - позволяет оценить работу органов власти по созданию качественной городской среды.

Рис. 2. Состав «пространств» и «критериев оценки» для определения индекса качества городской среды

Fig. 2. The composition of "spaces" and "evaluation criteria" for determining the urban environment quality index

ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты расчета индекса городской среды и его составляющих были выявлены с помощью описанной выше методики³ [9–11] приведены на рис. 3.

Видно, что практически все показатели индекса качества городской среды составляют

50 % и ниже, в том числе и оснащение социально-бытовыми объектами. В 2022 г. определен индекс городской среды по городу Иркутску, который составил 201 балл. По принятым критериям городская среда характеризуется как благоприятная (усреднено по всем районам города).

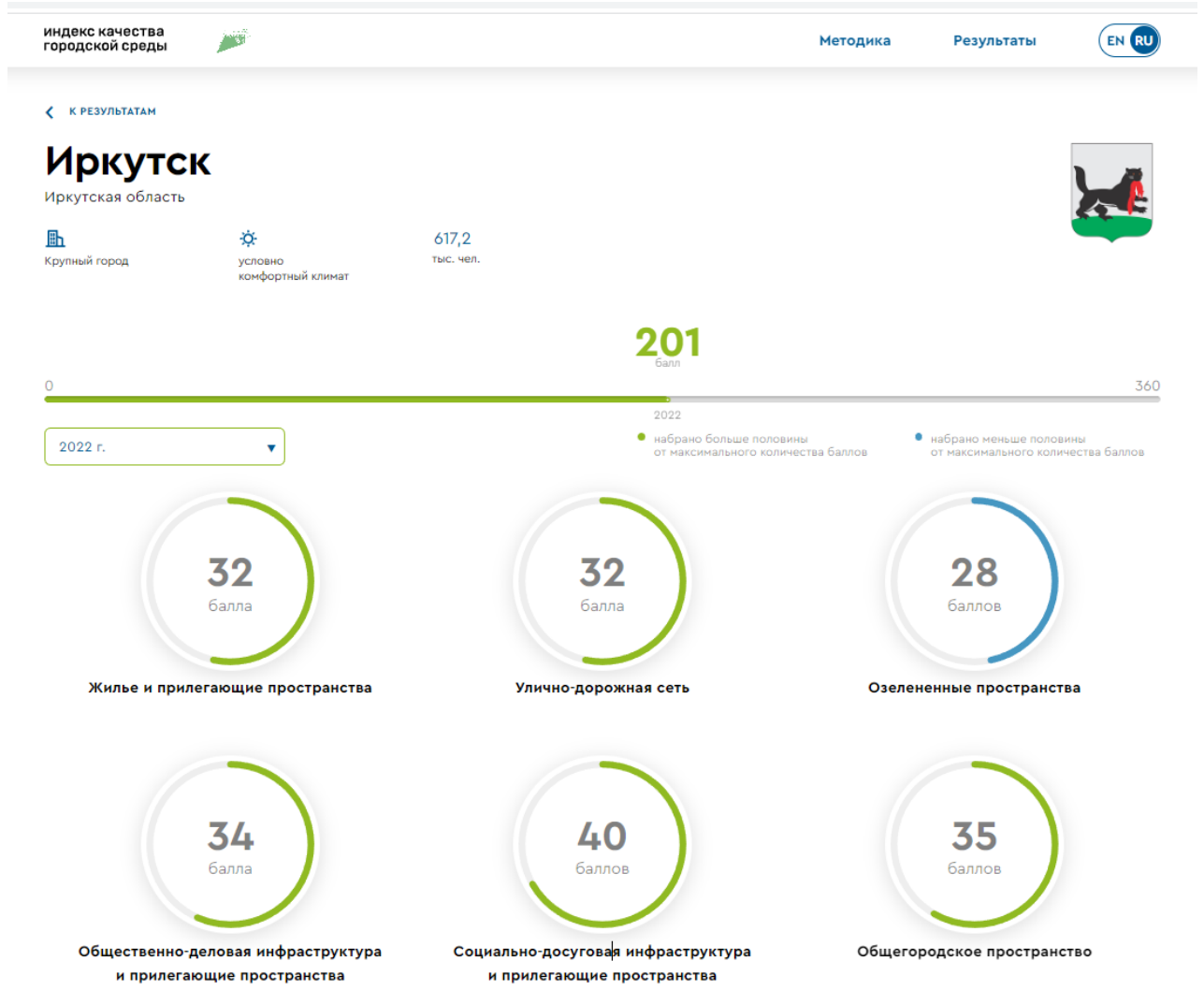


Рис. 3. Показатели качества городской среды г. Иркутска
Fig. 3. Indicators of the quality of the urban environment of Irkutsk

ИССЛЕДОВАНИЕ СОЦИАЛЬНО-БЫТОВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ГОРОДА ИРКУТСКА

В данной работе на основании расчета критериев оценки был проведен комплексный анализ одного из микрорайонов города Иркутска на предмет доступности социально-бытовых объектов. На рис. 4 приведен исследуемый микрорайон Юбилейный на плане го-

родской застройки.

Сбор статистической исходной информации об организациях и предприятиях проводился с помощью открытых источников, таких как Яндекс карты, Google карты, базы данных Irkutsk Zoon, собранной самими жителями и др. После первичного анализа территории был собран следующий список предприятий и организаций микрорайона Юбилейный:

³Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 31 октября 2017 г. № 1494/пр «Об утверждении Методики определения индекса качества городской среды муниципальных образований Российской Федерации».

1. Образовательные организации: а) дошкольные образовательные организации – 5 шт.; б) общеобразовательные организации – 2 шт.; в) внешкольные учреждения – 3 шт.; г) профессиональные образовательные организации – 1 шт.

2. Медицинские организации, учреждения социального обеспечения, спортивные и физкультурно-оздоровительные сооружения: а) детские дома-интернаты – 1 шт.; б) аптеки и поликлиники – 4 шт.; в) аптеки – 7 шт.; г) институты культового назначения – 1 шт.; д) помещения для физкультурно-оздоровительных занятий – 3 шт.

3. Учреждения культуры и искусства: а) библиотеки – 1 шт.

4. Предприятия торговли, общественного питания и бытового обслуживания: а) рыночные комплексы – 2 шт.; б) предприятия общественного питания – 2 шт.; в) предприятия торговли – 30 шт.; г) предприятия бытового обслуживания – 12 шт.

5. Кредитно-финансовые учреждения: а) отделения банков, операционная касса – 7 шт.

6. Учреждения жилищно-коммунального хозяйства: а) жилищно-эксплуатационные организации – 1 шт.; б) гостиницы – 1 шт.

В качестве исходной информации для определения уровня обеспеченности микрорайона Юбилейный необходимыми организациями и предприятиями использовалось местоположение вышеперечисленных объектов социально-бытового назначения.

Так как не удалось найти информацию о количестве проживающих в микрорайоне, было невозможно определить минимально допустимый уровень обеспеченности территории организациями и предприятиями по количеству населения.

По этой причине было принято решение при анализе опираться на показатель максимально допустимого уровня территориальной доступности объектов.

Следующим шагом, на основе полученной исходной информации и с учетом норм⁴ и [19-20] было создание схемы распределения радиусов доступности рассматриваемых социально-культурно-бытовых объектов микрорайона Юбилейный (рис. 5).

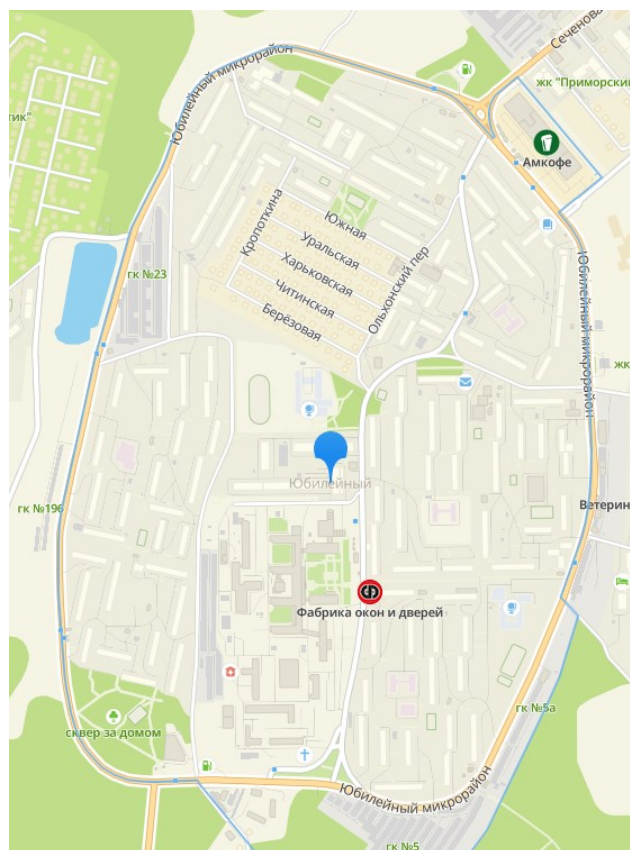


Рис. 4. Исследуемый микрорайон города Иркутска
Fig. 4. The investigated microdistrict of Irkutsk

⁴Нормы местного градостроительного проектирования г. Иркутска «Об утверждении местных нормативов градостроительного проектирования города Иркутска», № 006-20-190279/6 от 21.03.2016 г.

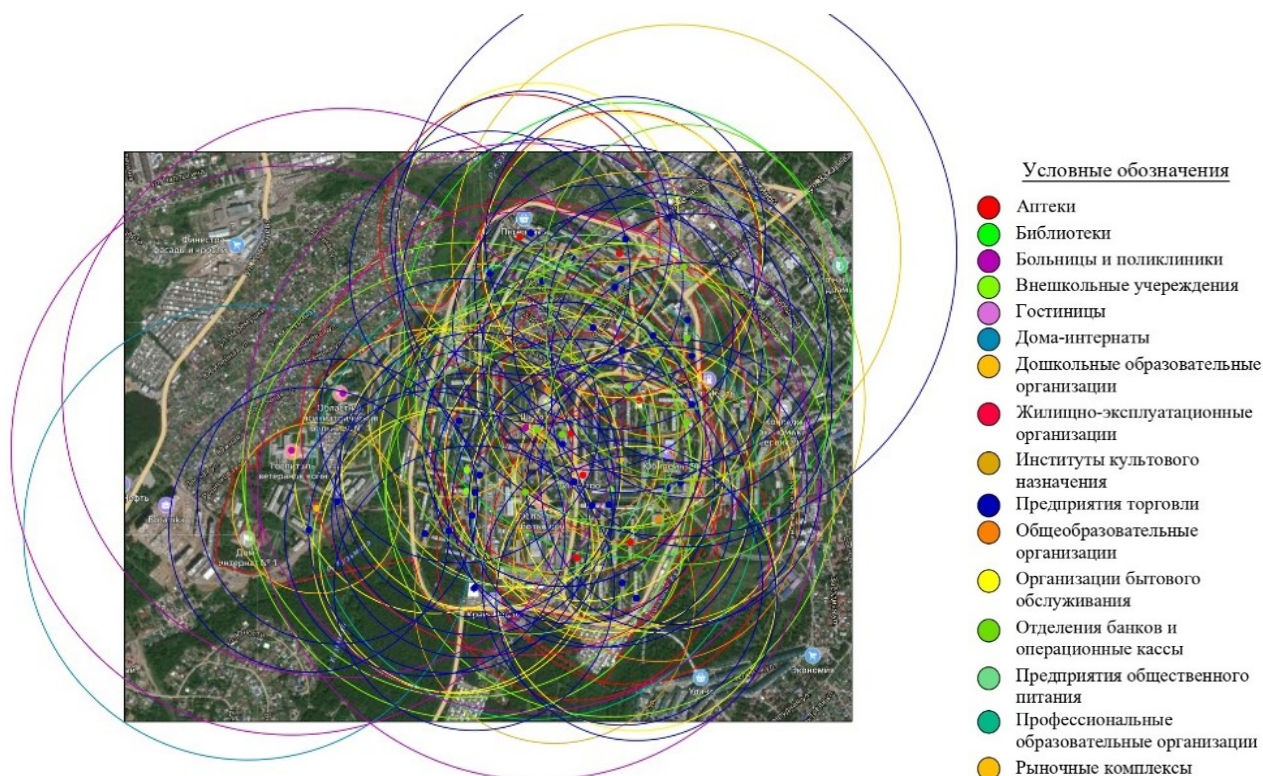


Рис. 5. Схема радиусов доступности социально-бытовыми объектами на территории микрорайона Юбилейный в городе Иркутске
Fig. 5. Scheme of accessibility radiuses by social amenities on the territory of Yubileyny microdistrict of Irkutsk

Показатели максимально допустимого уровня территориальной доступности разных категорий объектов следующие: для дошкольных образовательных организаций – 300 м; для общеобразовательных организаций – 500 м; для больниц и поликлиник – 1000 м; для аптек – 500 м; для торговых организаций – 500 м; для рыночных комплексов – 1000 м; для организаций бытового обслуживания – 500 м; для отделений банков и операционных касс 500 м; для жилищно-эксплуатационных организаций – 1000 м. Для более наглядного отображения полученных результатов были созданы отдельные схемы для каждой категории организаций и предприятий (рис. 6).

Исходя из анализа территориальной доступности важнейших предприятий и организаций для бытовой жизни жителей микрорайона Юбилейный был сделан вывод, что за исключением оснащённости детскими дошкольными учреждениями, микрорайон обеспечен всеми необходимыми организациями для комфортного проживания горожан. На северной и южной границах микрорайона обнару-

жились территории, не входящие ни в одну из ближайших зон доступности детских дошкольных учреждений (рис. 6а). Чтобы обеспечить требуемый уровень территориальной доступности детских дошкольных учреждений в микрорайоне, необходимо разместить еще два объекта. Возможное место размещения этих объектов представлено на схеме окружностью со штриховой линией (рис. 7).

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОТВЕДЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА

Расчет объема поверхностного стока, поступающего с территории микрорайона Юбилейный был произведен в соответствии с Рекомендациями Научно-исследовательского института водоснабжения, канализации, гидротехнических сооружений и инженерной гидрологии⁵. При этом учитывалось количество грунтовых и твердых покрытий. Результаты расчета показали, что ежегодно с исследуемой территории поступает 2285 м³ сточных вод в систему ливневой канализации, которые содержат в своем составе нефтепродукты, взвешенные вещества и т. д.

⁵Методическое пособие «Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты», одобрено научно-техническим советом и экспертно-консультационным центром НИИ ВОДГЕО 16 ноября 2015 г.



a)



b)



c)



d)



e)



f)



g)



h)

Рис. 6. Схема радиусов доступности по категориям организаций:
 а) дошкольных образовательных; б) общеобразовательных; в) поликлиник;
 д) аптек; е) торговых и рыночных комплексов; ф) бытового обслуживания;
 г) отделений банков и операционных касс; h) жилищно-эксплуатационных
Fig. 6. Scheme of accessibility radii by category of organizations:
 а) pre-school educational; б) general educational; в) polyclinics; д) pharmacies;
 е) trade and market complexes; ф) consumer services;
 г) bank branches and operating cash desks; h) housing and maintenance



Рис. 7. Места размещения дополнительных объектов детских дошкольных учреждений
Fig. 7. Locations of additional objects of preschool institutions

По данным визуального наблюдения в период интенсивного выпадения осадков отмечаются застои воды в пониженных формах рельефа, что свидетельствует о несовершенстве системы инженерного благоустройства.

Так, качество городской среды не может быть комплексно оценено без учета системы отведения поверхностного стока.

Однако в действующих методических подходах данный фактор рассматривается косвенно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе определена значимость социально-бытового благоустройства в обеспечении комфорта населенных мест. В результате выполнения исследования по

уровню оснащенности территории микрорайона Юбилейный города Иркутска объектами социально-бытового назначения был выявлен недостаток объектов, относящихся к учреждениям детского дошкольного образования.

Основным результатом статьи стало определение возможных мест размещения требуемых объектов.

Результаты данного исследования могут быть использованы жилищно-коммунальными структурами разного уровня для повышения качества городской среды территории микрорайона Юбилейный города Иркутска за счет обеспечения требуемого уровня оснащенности социально-бытовыми учреждениями.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Визгалов Д.В. Маркетинг города. М.: Институт экономики города, 2008. 113 с.
2. Демидова Е.В. Маркетинговые стратегии городов как инструмент территориального развития // Академический вестник Уральского научно исследовательский и проектно конструкторский институт Российской академии архитектуры и строительных наук. 2010. № 2. С. 10–15. EDN: MTEXID.
3. Жучков Д.В., Крохалёва С.И. Оценка индекса качества городской среды в малых и средних городах юга дальнего востока // Вестник Приамурского государственного университета им. Шолом-

- Алейхем. 2023. № 2 (51). С. 25–37. <https://doi.org/10.24412/2227-1384-2023-251-25-37>. EDN: KGTQUX.
4. Белякова Е.А., Уханов Д.А. Оценка качества городской среды города Пензы // Образование и наука в современном мире. Инновации. 2019. № 2 (21). С. 179–184. EDN: YXSCEP.
5. Пивоваров Ю.Л. Урбанизация России в XX веке: представления и реальность // Общественные науки и современность. 2001. № 6. С. 101–113.
6. Калманова В.Б. Город как урбогеосистема // Региональные проблемы. 2009. № 12. С. 26–28. EDN: TOVUJB.
7. Першина Т.А., Гоголева М.П. Повышение комфортности проживания как фактор экономического развития малых городов (моногородов) Российской Федерации (на примере города Котова) // Региональная экономика и управление: электронный научный журнал. 2016. № 2 (46). С. 50–59. EDN: WFBIQR.
8. Ильина И.Н. Качество городской среды как фактор устойчивого развития муниципальных образований // Имущественные отношения в Российской Федерации. 2015. № 5 (164). С. 69–82. EDN: RTPZFB.
9. Багирова А.П., Нотман О.В., Вереш Й. Методика комплексной оценки микрорайонов мегаполиса на основе мнений горожан // Экономика региона. 2017. Т. 13. № 4. С. 1138–1150. <https://doi.org/10.17059/2017-4-13>. EDN: ZXQKDN.
10. Агафонова Ю.О. Методики оценки качества городской среды городов-миллионников // Казанский экономический вестник. 2020. № 1 (45). С. 11–17. EDN: RQBKCP.
11. Нотман О.В. Индексный метод оценки качества городской среды: международный и российский опыт // Вестник Адыгейского государственного университета. 2021. № 2 (279). С. 89–99. <https://doi.org/10.53598/2410-3691-2021-2-279-89-99>. EDN: WQFFGI.
12. Черных В.В., Иваненко В.А. Анализ и направления совершенствования методики формирования индекса качества городской среды // Экономический вектор. 2021. № 2 (25). С. 128–137. <https://doi.org/10.36807/2411-7269-2021-2-25-128-137>. EDN: FCAAML.
13. Королева Е.Н., Мищенко В.В. Некоторые подходы к расчету индекса качества городской среды // Экономика. Профессия. Бизнес. 2020. № 4. С. 61–66. <https://doi.org/10.14258/epb2019101>. EDN: ZYPPVV.
14. Борисов М.А. Индекс качества городской среды муниципальных образований российской федерации как индикатор местного и регионального развития // Мировая наука. 2019. № 12 (33). С. 81–87. EDN: NDZEXH.
15. Энгельгардт А.Э., Липовка А.Ю., Федченко И.Г. Международный опыт индексирования качества городской среды // Урбанистика. 2018. № 4. С. 77–87. <https://doi.org/10.7256/2310-8673.2018.4.27886>. EDN: YUHOAX.
16. Гребнева О.А., Лавыгина О.Л. Анализ экологического ущерба при несовершенстве систем отведения поверхностного стока на рекреационных территориях // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2021. № 9 (753). С. 93–98. <https://doi.org/10.32683/0536-1052-2021-753-9-93-98>. EDN: VWGJCB.
17. Лавыгина О.Л., Гребнева О.А. Природоохранные технологии в системах ЖКХ на Байкальской природной территории // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2019. Т. 9. № 4 (31). С. 726–733. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-4-726-733>. EDN: WGUJJQ.
18. Лавыгина О.Л., Гребнева О.А., Алексеев А.В. Снижение экологических рисков при реализации мероприятий по реконструкции системы водоотведения на территории центральной экологической зоны оз. Байкал // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 1 (40). С. 62–69. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-62-69>. EDN: SYAUWD.
19. Полякова Н.В., Залешин В.Е., Поляков В.В. Диагностика комфортности среды проживания в городах: обоснование и формирование методики // Известия Байкальского государственного университета. 2020. Т. 30. № 1. С. 121–129. [https://doi.org/10.17150/2500-2759.2020.30\(1\).121-129](https://doi.org/10.17150/2500-2759.2020.30(1).121-129). EDN: XEQZYC.
20. Большаков А.Г. Оценка морфотипов застройки как отражения интересов и ценностей городского сообщества и их баланс как принцип градостроительной регенерации исторического центра // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2012. № 9 (68). С. 89–97. EDN: PDCFYF.

REFERENCES

1. Vizgalov D.V. *City Marketing*. Moscow: Institute of Urban Economics, 2008. 113 p. (In Russ.).
2. Demidova E.V. Marketing Strategy of City as The Tool of Territorial Development Academic. *Akademicheskii vestnik Ural'skogo nauchno issledovatel'skii i proektno konstruktorskii in-stitut Rossiiskoi*

akademii arkhitektury i stroitel'nykh nauk = Academic Bulletin of the Ural Research and Design Institute of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences. 2010;2:10-15. (In Russ.). EDN: MTEXID.

3. Zhuchkov D.V., Krohaleva S.I. Assessment of The Urban Environment Quality Index in Small and Medium-Sized Towns of the South of the Far East. *Vestnik Priamurskogo gosudarstvennogo universiteta im. Sholom-Aleikhem = Bulletin of the Amur State University named after. Sholom Aleichem.* 2023;2(51): 25-37. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/2227-1384-2023-251-25-37>. EDN: KGTQUX.

4. Belyakova E.A., Ukhonov D.A. Quality Assessment of Urban Environment of the City of Penza. *Obrazovanie i nauka v sovremennom mire. Innovatsii = Education and Science in The Modern World. Innovation.* 2019;2(21):179-184. (In Russ.). EDN: YXSCEP.

5. Pivovarov Yu.L. Urbanization of Russia in The 20th Century: Ideas and Reality. *Obshchestvennye nauki i sovremennost' = Social Sciences and Modernity.* 2001;6:101-113. (In Russ.).

6. Kalmanova V.B. Town as Urban Geo-System. *Regional'nye problemy = Regional Problems.* 2009;12:26-28. (In Russ.). EDN: TOVUJB.

7. Pershina T.A., Gogoleva M.P. Improving Comfortable Living as Factor of Economic Development of Small Towns (One-Company Towns) Russian Federation (On The Example of Kotovo). *Regional'naya ekonomika i upravlenie: elektronnyi nauchnyi zhurnal = Regional Economics and Management: Electronic Scientific Journal.* 2016;2(46):50-59. (In Russ.). EDN: WFBIQR.

8. Ilyina I.N. Quality of Urban Environment as A Factor of Sustainable Community Development. *Imushchestvennye otnosheniya v Rossiiskoi Federatsii = Property Relations in the Russian Federation.* 2015;5(164):69-82. (In Russ.). EDN: RTPZFB.

9. Bagirova A.P., Notman O.V., Veress J. Methods of Integrated Assessment of Megalopolis's Micro-Districts on the Basis of Residents' Opinions. *Ekonomika regiona = Economy of Regions.* 2017;13;4:1138-1150. (In Russ.). <https://doi.org/10.17059/2017-4-13>. EDN: ZXQKDH.

10. Agafonova Ju.O. Quality Assessment Methods of the City Environment for Millionaire Cities. *Kazan-skii ekonomicheskii vestnik = Kazan Economic Vestnik.* 2020;1(45):11-17. (In Russ.). EDN: RQBKCP.

11. Notman O.V. Index Method for Assessing the Quality of the Urban Environment: International and Russian Experience. *Vestnik Adygeiskogo gosudarstvennogo universiteta = The Bulletin of the Adyge State University: Internet Scientific Journal.* 2021;2(279):89-99. (In Russ.). <https://doi.org/10.53598/2410-3691-2021-2-279-89-99>. EDN: WQFFGI.

12. Chernykh V.V., Ivanenko V.A. Analysis and Directions for Improving the Methodology for The Calculation of the Urban Environment Quality Index. *Ekonomicheskii vector = Economic Vector.* 2021;2(25):128-137. (In Russ.). <https://doi.org/10.36807/2411-7269-2021-2-25-128-137>. EDN: FCAAML.

13. Koroleva E.N., Mishchenko V.V. Some Approaches to The Calculating of the Urban Environment Quality Index. *Ekonomika. Professiya. Biznes = Economy. Profession. Business.* 2020;4:61-66. (In Russ.). <https://doi.org/10.14258/epb2019101>. EDN: ZYPPVV.

14. Borisov M.A. Urban Environment Quality Index of Municipalities of the Russian Federation as an Indicator of Local and Regional Development. *Mirovaya nauka = World Science.* 2019;12(33):81-87. (In Russ.). EDN: NDZEXH.

15. Engel'gardt A.E., Lipovka A.Yu., Fedchenko I.G. International Experience in Indexing the Quality of the Urban Environment. *Urbanistika = Urbanism.* 2018;4:77-87. (In Russ.). <https://doi.org/10.7256/2310-8673.2018.4.27886>. EDN: YYHOAX.

16. Grebneva O.A., Lavygina O.L. Analysis of Environmental Damage Due to Imperfection of Surface Runoff Discharge Systems in Recreational Territories. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo = News of Higher Educational Institutions. Construction.* 2021;9(753):93-98. (In Russ.). <https://doi.org/10.32683/0536-1052-2021-753-9-93-98>. EDN: VWGJCB.

17. Lavygina O.L., Grebneva O.A. Environmental Technologies in the Housing and Communal Service System of the Baikal Natural Territory. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2019;9;4(31):726-733. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-4-726-733>. EDN: WGUJJQ.

18. Lavygina O.L., Grebneva O.A., Alekseev A.V. Environmental Risk Prevention During the Reconstruction of the Sewerage System in The Lake Baikal Central Ecological Zone. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2022;12;1(40):62-69. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-62-69>. EDN: SYAUWD.

19. Polyakova N.V., Zaleshin V.E., Polyakov V.V. Diagnosis of The Comfort of the Living Environment in Cities: Substantiation and Development of Methods. *Izvestiya Baikal'skogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Baikal State University.* 2020;30;1:121-129. (In Russ.). [https://doi.org/10.17150/2500-2759.2020.30\(1\).121-129](https://doi.org/10.17150/2500-2759.2020.30(1).121-129). EDN: XEQZYC.

20. Bolshakov A.G. Built-Up Pattern Evaluation as A Reflection of Urban Community Interests and Values and Their Balance as A Principle of Historical City Center Renovation. *Vestnik Irkutskogo gosudar-*

Информация об авторах

Гребнева Оксана Александровна,
к.т.н., доцент, доцент кафедры городского
строительства и хозяйства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
старший научный сотрудник,
Институт систем энергетики
им. Л.А. Мелентьева СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130,
Россия,
✉e-mail: oksana@isem.irk.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1492-5552>
Author ID: 16850

Лавыгина Ольга Леонидовна,
к.т.н., доцент, доцент кафедры
городского строительства и хозяйства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
e-mail: olgakot81@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9558-5018>
Author ID: 689382

Information about the authors

Oksana A. Grebneva,
Cand. Tech. Sci., Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Urban Construction and Economy,
Irkutsk National Research Technical
University,
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074,
Russia,
Senior Researcher,
Energy Systems Institute SB RAS,
130 Lermontov St., Irkutsk, 664033,
Russia,
✉e-mail: oksana@isem.irk.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1492-5552>
Author ID: 16850

Olga L. Lavygina,
Cand. Tech. Sci., Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Urban Construction and Economy,
Irkutsk National Research Technical
University,
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,
e-mail: olgakot81@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9558-5018>
Author ID: 689382

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в под-
готовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта инте-
ресов.

Conflict of interests

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

Все авторы прочитали и одобрили окончатель-
ный вариант рукописи.

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

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 11.12.2023.
Одобрена после рецензирования 25.12.2023.
Принята к публикации 26.12.2023.

Information about the article

The article was submitted 11.12.2023.
Approved after reviewing 25.12.2023.
Accepted for publication 26.12.2023.



Организации жилищного строительства: практические аспекты цифровой интеллектуальной поддержки (на примере ЖК «Авиатор», г. Иркутск)

А.В. Королёк¹✉, М.В. Матвеева², А.В. Пешков³

¹Группа компаний «Новый Город», г. Иркутск, Россия

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

Аннотация. Целью статьи является рассмотрение практических аспектов цифровой интеллектуальной поддержки организации жилищного строительства на примере организации строительства жилого комплекса «Авиатор» в г. Иркутске (застройщик – группа компаний «Новый город»). Цифровая интеллектуальная поддержка позволяет автоматизировать и дистанционно управлять процессами организации жилищного строительства посредством оперативного принятия наиболее эффективных решений, что позволяет повысить надежность системы организации жилищного строительства. В статье освещаются вопросы применения оптимизационных алгоритмов в организации жилищного строительства, где при интеграции системного анализа, организационного, информационного и математического моделирования появляется возможность оптимизации принимаемых решений по всем видам ресурсов, продолжительности по времени производственных процессов и строительства объекта в целом. Все это способствует совершенствованию системы управления организацией строительства жилого комплекса в аспектах качества, надежности и эффективности. Рассмотрены вопросы контроля за организацией и реализацией этапов и очередности в жилищном строительстве на примере жилого комплекса «Авиатор». В целом использование потенциала цифровой интеллектуальной поддержки отражается на результатах экономических показателей деятельности организации по исследуемому объекту на этапе собственно строительства.

Ключевые слова: жилой комплекс, жилищное строительство, организация, интеллектуальная поддержка, цифровизация, моделирование, автоматизация, надежность, экономические показатели

Для цитирования: Королёк А.В., Матвеева М.В., Пешков А.В. Организации жилищного строительства: практические аспекты цифровой интеллектуальной поддержки (на примере ЖК «Авиатор», г. Иркутск) // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 1. С. 70–81. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-1-70-81>. EDN: XBLSJ.

Original article

Housing construction management: practical aspects of digital intelligent support (on the example of the Aviator housing development, Irkutsk)

Artem V. Korolek¹✉, Maria V. Matveeva², Artem V. Peshkov³

¹Group of companies "Novy Gorod", Irkutsk, Russia

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

Abstract. The article considers the practical aspects of digital intelligent support for managing housing construction using the example of the construction management of the Aviator housing estate in Irkutsk (the developer is the Novy Gorod business group). Digital intelligent support enables one to automate and remotely manage the processes of organizing housing construction through taking the most effective decisions promptly. This gives an opportunity to increase the reliability of the housing construction management system. The article highlights the application of optimization algorithms to organizing housing construction. With the integration of systems analysis, organizational, information, and mathe-

mathematical modeling, it becomes possible to optimize decisions made for all resource types, the duration of production processes, and the construction of the entire object. All these enhance the management system for organizing housing estate construction in terms of quality, reliability, and efficiency. The article addresses the issues of control over the organization and implementation of housing construction stages and priorities using the example of the Aviator housing complex. In general, using the digital intelligent support potential impacts on the economic performance indicators of the organization for the object under study at the construction stage proper.

Keywords: residential complex, housing construction, organization, intellectual support, digitalization, modeling, automation, reliability, economic indicators

For citation: Korolek A.V., Matveeva M.V., Peshkov A.V. Housing construction management: practical aspects of digital intelligent support (on the example of the Aviator housing development, Irkutsk). *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'* = *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(1):70-81. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-1-70-81>. EDN: XBBSJ.

ВВЕДЕНИЕ

Строительство жилых зданий в г. Иркутске за период январь–август 2023 г. выросло на 17,7 % по сравнению с аналогичным периодом 2022 г. Это связано с возрастающей потребностью населения в жилых помещениях. Потребность в увеличении жилой площади в г. Иркутске стала актуальной темой для специализированных застройщиков, которые стремятся увеличить количество возведения многоквартирных домов (МКД), жилые помещения в которых будут иметь конкурентное качество и цену за квадратный метр жилья.

Обеспечение населения жильем – важнейшая проблема, решение которой осуществляется, в том числе в рамках национального проекта «Жилье и городская среда». Чтобы снизить уровень этой проблемы, застройщики направляют вектор своих целей на использование автоматизации и цифровизации в строительстве, а также на применение новых энергоресурсосберегающих технологий, что позволяет им иметь ряд преимуществ по сравнению с другими строительными организациями на строительном рынке [1]. Сегодня в основе жилищного строительства лежит комплексное развитие территорий. Строительство жилого комплекса «Авиатор» в г. Иркутске выполняет группа компаний «Новый город». Группа компаний «Новый Город» выполняет работы по строительству зданий и сооружений с 1996 г., на протяжении 18 лет ведет комплексное строительство жилых домов в г. Иркутске. В эксплуатацию введено более 550 000 м² жилой и нежилой площадей. Длительное время группа компаний «Новый Город» занимает лидирующие позиции на строительном рынке г. Иркутска с прочной репутацией и сильной конкурентной позицией. Имея большой опыт в организации возведения объектов недвижимости, группа компаний

«Новый Город» обращает особое внимание на сроки их сооружения и соблюдение утвержденных графиков производственных работ. Следует отметить, что эта информация общедоступна каждому потенциальному клиенту. Строительная деятельность группы компаний «Новый Город» подтверждается многочисленным количеством наград федерального значения. На сегодняшний день, помимо строительства, группа компаний «Новый Город» на собственном заводе производит более 100 видов строительных материалов – большой ассортимент тротуарной плитки, деталей колодцев, бортового камня, мостовых труб, бетонной смеси и т. д. Качество строительной продукции подтверждено не только лабораторными испытаниями, но и многочисленными отзывами клиентов. Группа компаний «Новый Город» предлагает жителям г. Иркутска эксклюзивные и классические материалы строительной продукции. Лидерство в Иркутской области достигнуто благодаря неустанному самосовершенствованию и внедрению новых технологий в строительном производстве.

Индивидуальный подход к клиенту позволяет создавать уникальные творения, которые радуют самым изысканным уровнем сервиса, ассортиментом и качеством готовой строительной продукции. Благодаря сильной команде профессионалов группа компаний «Новый Город» является застройщиком № 1 в Иркутской области.

Жилой комплекс «Авиатор» (ЖК «Авиатор») – полностью обустроенный микрорайон с собственной развитой инфраструктурой, дворовыми площадками, подземными автопарковками и помещениями для бизнеса (рис. 1). Квартиры от группы компаний «Новый Город» представляют собой надежность, комфорт и выгодное вложение капитала.



Рис. 1. Генеральный план жилого комплекса «Авиатор»
Fig. 1. General plan of the residential complex "Aviator"

Развитие жилищного строительства требует постоянных изменений и усовершенствования процесса возведения жилых зданий, ускорения работ с сохранением качества и снижением сроков выполняемых работ. В связи с этим возникает потребность использования интеллектуальной поддержки и применения цифровизации для принятия своевременных решений и оптимизации процессов управления и контроля в строительстве [2, 3].

Современные алгоритмы программного обеспечения позволяют обрабатывать большие объемы информации, полученные с объекта строительства. Использование программного обеспечения позволяет оптимизировать процессы организации и управления строительством [4].

Оптимизационные алгоритмы используются для построения оптимального плана технологической последовательности при организации жилищного строительства. Так как эти алгоритмы используют различные параметры и комбинации стратегий для выбора наилучшего решения проблем процесса строительного производства, то это ведет к снижению издержек и повышению эффектив-

ности организации производственных процессов [5].

Сценарии моделирования и имитации производственных процессов в строительстве делают простой и наглядной визуализацию строительного производства, с помощью которой руководители строительных организаций оценивают различные варианты строительных процессов. Такой подход обеспечивает возможность сравнений различных стратегий и помогает выбрать наиболее эффективные производственно-экономические решения [6].

Визуальные средства поддержки принятия решений – графические интерфейсы визуализации производства – упрощают информационный анализ, что способствует принятию обоснованного и рационального решения. Визуальные средства поддержки могут включать и интегрировать различные диаграммы (Ганта), графики, карты, 3D-планы и другие инструменты, облегчающие понимание структуры взаимосвязей производственных процессов.

Система управления интегрированными процессами происходит с помощью таких про-

граммных обеспечений, как 1С, Renga, Pilot BIM и Excel, что позволяет обеспечить связь между производственными процессами, техническим обслуживанием средств механизации и оборудованием модернизацией строительного производства, поставками материалов и оборудования на конкретном объекте строительства. За счет этого становится быстрее обмен данными между различными отделами и управляющими структурами и, как результат, повышение эффективности и оптимизации процесса строительного производства [7].

Цифровизация в строительстве – процесс перевода всех строительных процессов в цифровой формат, использование новейших технологий для увеличения качественно-количественных показателей строительного производства. Строительные организации, желая получить конкурентные преимущества и оптимизировать процессы строительного производства, активно внедряют автоматизи-

рованную разработку программного обеспечения [8]. С 2022 г. в строительной отрасли Российской Федерации внедряют BIM технологии – компьютерное моделирование объектов строительства. В проектах, при реализации которых используются привлеченные государственные бюджетные средства, применение BIM технологии считается обязательным требованием [9].

Вектор цели BIM технологий направлен на усовершенствование всех процедур реализации проекта и эффективное участие всех его участников (строительных организаций). Визуальные изображения зданий в виде макетов с помощью специальных программ позволяют увидеть более детальную картину объекта строительства, включая все процессы строительного производства, обеспечения и обслуживания. Такой современный подход разработки конструкций позволяет моделировать здания и сооружения в виртуально-цифровом формате (рис. 2).



Рис. 2. Создание эскиза, концептуальное проектирование
Fig. 2. Sketching, conceptual design

В связи с программой импортозамещения на рынке Российской Федерации был внедрен отечественный программный продукт Renga, который позволяет строительным организациям участвовать в реализации проектов с государственным финансированием. На сегодняшний день доступное объединение Renga с комплексной системой автоматизации строительства БИТ.СТРОИТЕЛЬСТВО обеспечивает интегрированную автоматизацию таких строительных процессов, как планирование, контроль, учет и управление строительным проектом. Преимущества комплексной системы автоматизации строительства

БИТ.СТРОИТЕЛЬСТВО представлено на рис. 3. Практика внедрения этого программного обеспечения показывает, что производительность труда в строительной организации вырастает на 10 %, благодаря чему возникает устойчивость такой строительной организации на рынке строительства по сравнению с другими строительными организациями. На выходе после реализации стратегии автоматизации строительных процессов сокращаются финансовые средства на создание объектов капитального строительства – жилых зданий на 20 %, сроки возведения жилых зданий сокращаются на 30 %.

БИТ.СТРОИТЕЛЬСТВО – комплексная система для автоматизации строительства. Решение входит в Реестр российского программного обеспечения и обладает всем необходимым функционалом для решения задач строительной организации.

БИТ.СТРОИТЕЛЬСТВО в комплексе автоматизирует:

- Бухгалтерию подрядных организаций и заказчиков-застройщиков;
- Управление финансами, консолидацию, МСФО, управленческий учет;
- Расчет заработной платы пообъектно;
- Подразделения продаж;
- Отделы материально-технического снабжения;
- Управление строительными машинами и механизмами.

Ключевые преимущества:

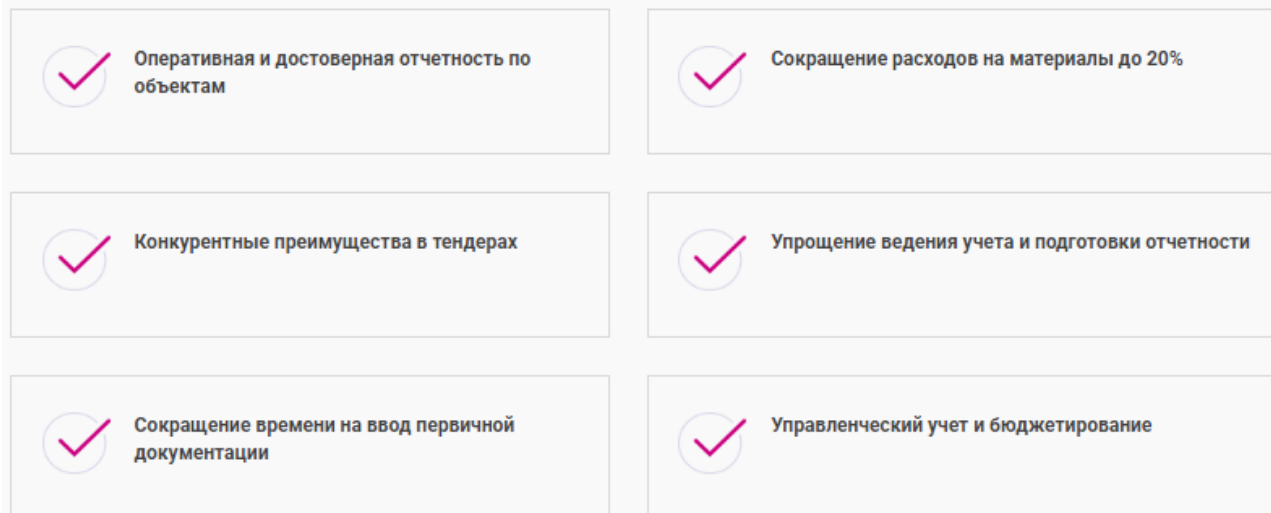


Рис. 3. Описание преимуществ системы БИТ.СТРОИТЕЛЬСТВО
Fig. 3. Description of the advantages of the BIT.CONSTRUCTION system

Своевременный переход в электронный цифровой формат дает возможность строительным организациям участвовать в реализации объектов строительства с государственным финансированием, а также экономить финансовые средства и повышать эффективность деятельности строительной организации.

МЕТОДЫ

Интеллектуальная поддержка в строительстве – поддержка в принятии решений по управлению производственными процессами в строительстве, в заблаговременном решении задач по своевременной поставке материалов и оборудования непосредственно на строительную площадку [10, 11].

В группе компаний «Новый Город» на объекте строительства ЖК «Авиатор» управление производственными процессами производится с помощью графиков производства работ, интегрированных с программной площадкой 1С в виде таблицы, в которой отображаются ежедневные объемы выполненных работ всеми подрядными организациями, которые входят в группу компаний «Новый Город» и участвуют в строительстве.

Распределение объемов работ между подрядными организациями происходит после анализа программой 1С объемов работ и временных затрат на их выполнение, формирования таблицы трудоемкости тех или иных работ.

С учетом направленности той или иной строительной организации руководство группы компаний «Новый Город» распределяет объемы работ между подрядными организациями, которые входят в контур ее управления.

Каждый подрядчик с помощью программы 1С видит закрепленные за ним объемы работ, регламентированное время их выполнения, необходимое количество материалов, инструментов, оборудования, машин и механизмов.

Благодаря этому подрядчик самостоятельно производит расчет срока, необходимого для выполнения закрепленных за ним объемов работ, количества человеко-часов, количества рабочих, необходимых для выполнения тех или иных работ, необходимого количества материалов, оборудования, машин и механизмов [12].

На сегодняшний день в группе компаний «Новый Город» автоматизация и цифровизация с использованием платформы 1С охвати-

ли такие процессы, как поставка материалов, контроль объемов выполненных работ и контроль за списанием материалов (рис. 4).

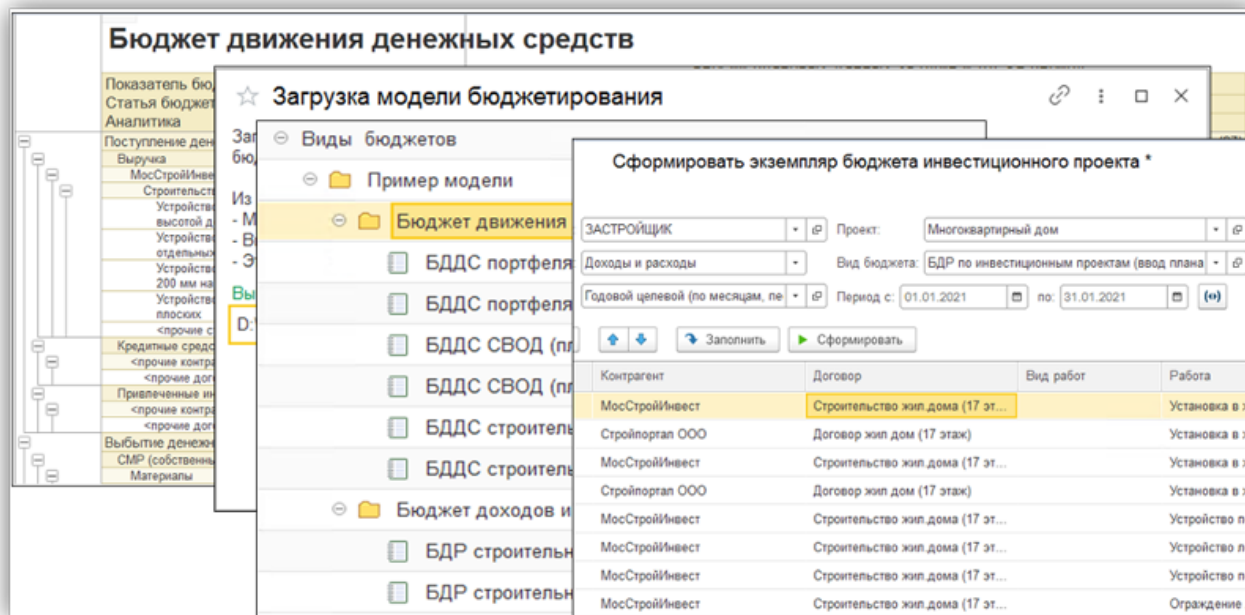


Рис. 4. Интерфейс программы 1С
Fig. 4. 1C program interface

Автоматизация и цифровизация платформы 1С значительно сокращает время на контроль объемов работ и обеспечивает своевременную поставку материалов и оборудования на строительную площадку. Программа 1С сама рассчитывает точку входа подрядчиков на объект, дату начала строительных работ, срок потребности в тех или иных материалах, подручных технических приспособлениях, оборудовании, машинах и механизмах.

Так, платформа 1С, учитывая сроки выполнения работ, рекомендует сроки поставки материалов, на основании чего строится график поставки материалов.

Все материалы поставляются на объект строительства централизованно и своевременно в необходимом количестве для каждой подрядной организации, т. к. программа сама сигнализирует отделу снабжения о необходимости тех или иных материалов на определенном объекте строительства.

Материалы доставляются на объект собственным или наемным автотранспортом. За поставку строительных материалов группа компаний «Новый Город» производит оплату авансом, что позволяет, не имея достаточных по площади собственных складских помещений, хранить строительные материалы у по-

ставщиков до даты доставки, а это экономит время и расходы на промежуточную транспортировку, ответственное хранение или аренду складских площадей, погрузку и выгрузку.

Первая стадия контроля за объемом выполненных работ заключается в том, что каждый день в программу вносится информация о фактическом объеме выполненных работ. Указанная информация заносится производителем работ в соответствующую графу по факту выполнения, а программа 1С сама вычитает выполненные объемы строительных работ и показывает сколько объемов работ осталось выполнить и в какие сроки.

Программа автоматически производит вертикальный анализ, выявляет пиковые значения и критические превышения. В производственно-техническом отделе (ПТО) показания по объемам выполненных работ снимаются, анализируются и передаются главному инженеру.

По результатам выполнения строительных работ в случае отставания от графика производства работ принимаются решения по принятию компенсационных мероприятий для соблюдения сроков по графику производства работ (рис. 5).

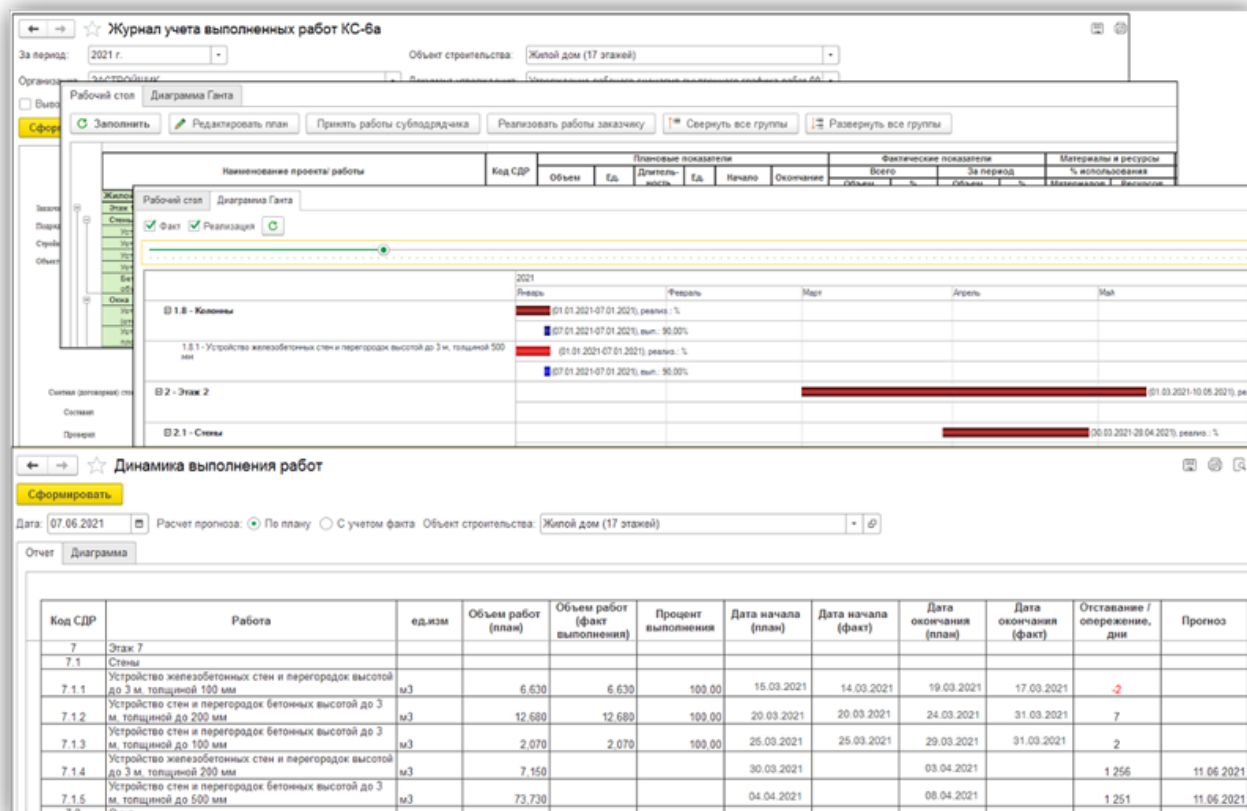


Рис. 5. Журнал учета выполненных работ в электронном виде
Fig. 5. Journal of work performed in electronic form

Как правило, решения по принятию компенсационных мероприятий принимаются в кратчайшие сроки с дачей письменных указаний по решению возникшей проблемы непосредственно в программе 1С. Подрядчик, отстающий от графика производства работ, попадает в поле наблюдения руководства группы компаний «Новый Город».

Как только подрядчик устраняет свое отставание в объемах выполнения работ по графику производства работ, то в таблице 1С исчезает информация об отставании этого подрядчика, выделенная красным цветом в таблице в соответствующей графе. Описанный выше механизм контроля является дистанционным и графическим.

Вторая стадия контроля заключается в контроле за списанием материалов. Списание производится только тех материалов, которые фактически получены подрядной строительной организацией для конкретного объекта строительства согласно проекту и смете. Списание производится по факту выполнения работ с применением соответствующих материалов и на основании подписанного акта приемки выполненных работ по форме № КС-2 (Акт по форме КС-2).

В случае, если подрядчик решит списать материалы, не предъявив работы к приемке, т. е. в отсутствие подписанного Акта по форме КС-2, то программа не позволит совершить эту операцию списания материалов. Если подрядчик решит списать материалы, которые не предусмотрены в этих видах и объемах строительных работ, то программа также не позволит ему этого сделать, а информацию о предпринятых и недоступных к совершению попытках действий передаст в ПТО. Закрытие выполненных строительных работ и списание материалов производится строго согласно видам и объемам работ, строительным материалам, предусмотренным для выполнения таких работ. Принятие работ производится строительным контролем с отметкой о выполнении в программе 1С.

Тем самым, с помощью цифровизации обеспечивается контроль за списанием материалов, используемых при строительстве жилых зданий [13].

Весь документооборот в группе компаний «Новый Город» ведется в электронном виде, что упрощает взаимодействие между структурными подразделениями и сотрудниками всех организаций, входящих в группу компа-

ний «Новый Город». Вся проектно-сметная, разрешительная, исполнительная и иная документация по каждому объекту строительства оцифрована и доступна в электронном виде в актуальной редакции. Документы пересылаются, согласовываются и подписываются в программе электронного документооборота, что облегчает работу и сокращает сроки по обмену информацией и проведению указанных выше процедур согласования и подписания документации [14].

Если возникают проблемные вопросы, то в большинстве случаев они разрешаются дистанционно и в кратчайшие сроки. Все необходимые документы (проектно-сметная, разрешительная, исполнительная и иная документация) доступны для поиска, ознакомления и анализа через внутреннюю программу электронного документооборота.

Описанная выше интеллектуальная поддержка производственных процессов в строительстве является системой второго поколения автоматизации и цифровизации, которая дает точную информацию по всему объекту строительства, анализирует проектно-сметную документацию. Система первого по-

коления включала в себя только данные, размещенные в таблицах на платформе 1С и являлась по своей сути всего лишь наглядным пособием по исходным данным [15].

На сегодняшний день внедряются новые технологии строительного производства. Так, в группе компаний «Новый Город» работает опытная группа с программой Renga, с помощью которой легко проектировать и моделировать различные здания и сооружения. В этом программном обеспечении одновременно над одним проектом могут работать инженеры-проектировщики, специализирующиеся по разным видам конструкций, при этом не мешая друг другу: каждый выполняет работу по своему направлению, что дает этому программному обеспечению преимущество по сравнению с другими программами [16].

Renga – это российская BIM система для комплексного проектирования с необходимой функциональностью, интуитивно понятным интерфейсом и доступной ценой. Созданная в программе документация соответствует используемой в России нормативно-технической документации. Информационная модель созданного объекта строительства используется на всем его жизненном цикле (рис. 6).

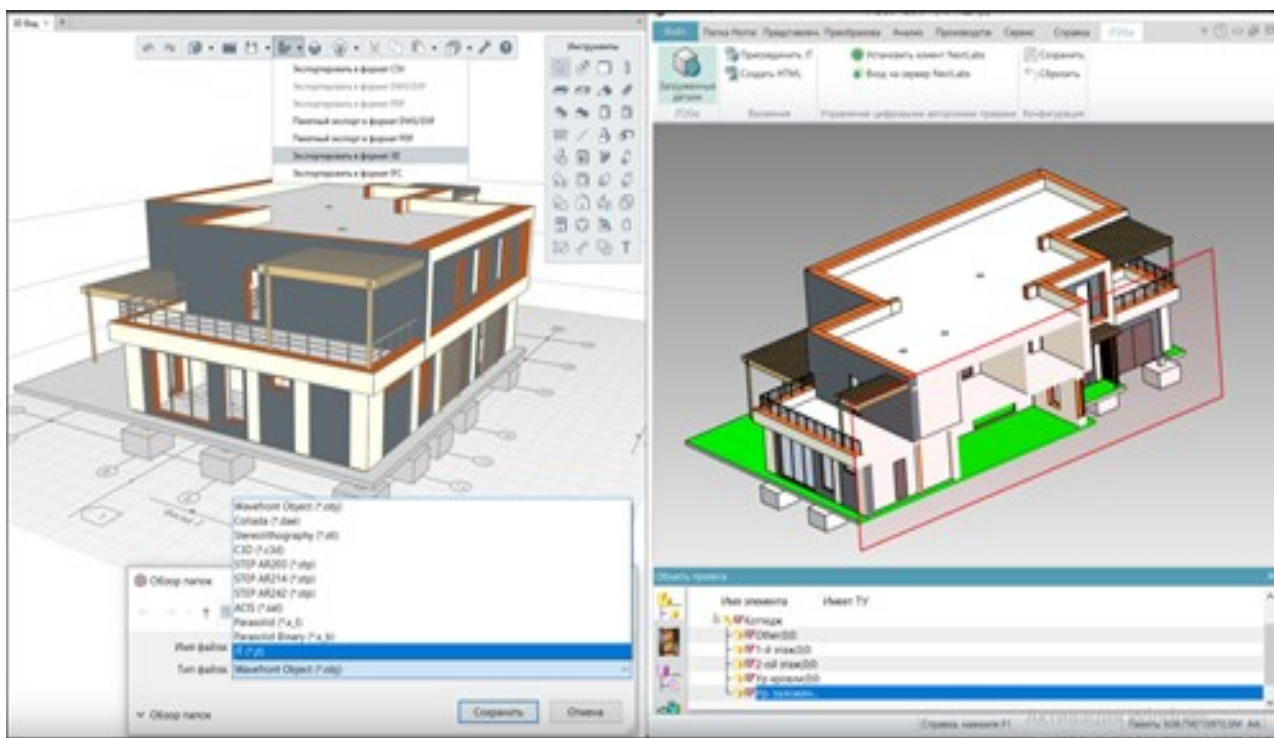


Рис. 6. Фрагмент комплексного проектирования с помощью программы Renga
Fig. 6. Fragment of complex design using the Renga program

Такая современная программа решает задачи не только по проектированию, но и хорошо взаимодействует с другими программ-

ными площадками, оптимизируя и упрощая работу как в области проектирования, так и в области моделирования с постройками гра-

фиков производства работ, контроля за выполнением работ, поставки материалов, оборудования, машин, механизмов и техники на строительную площадку [17].

Упрощение в процессах строительного производства дает возможность в будущем группе компаний «Новый Город» с теми же характеристиками по качеству строительства увеличить объемы производства, сократить сроки выполнения строительных работ, что в конечном результате сэкономит финансовые ресурсы группы компаний «Новый Город» и снизит цену на жилье.

Такой ход событий позволит конкурировать по строительству жилых зданий на рынке строительства со всеми строительными орга-

низациями города Иркутска, устойчиво развиваться и сохранять лидирующие позиции на строительном рынке на протяжении многих лет. В ближайшее время группой компаний «Новый Город» планируется закупить камеры видеонаблюдения с лазерными точками съемки объемов выполненных работ, что позволит улучшить и упростить контроль выполнения строительных работ. Видеокамеры такого типа позволяют с точностью до 70 % снимать и фиксировать выполнение объемов строительных работ, затененность (то, что не попадает в зону видимости камер видеонаблюдения) в размере оставшихся 30 % будет поступать с объекта строительства через площадку 1С в виде цифр и графиков (рис. 7).

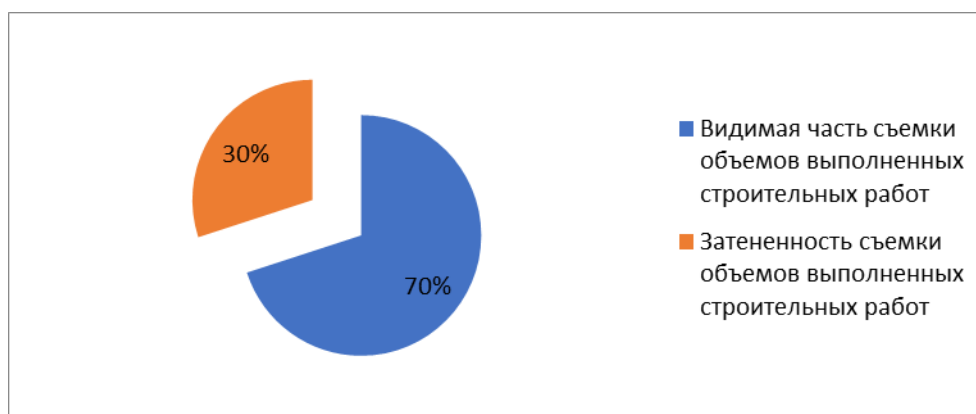


Рис. 7. Соотношение частей видимой и затененной съемки объемов выполненных строительных работ с помощью камер видеонаблюдения

Fig. 7. The ratio of the parts of visible and shaded filming of the volumes of construction work performed using CCTV cameras

Такое усовершенствование интеллектуальной поддержки процессов строительного производства на этапе строительства будет внедрено в группе компаний «Новый Город» в начале 2024 г.

В настоящее время происходит обучение специалистов по работе с этим программным обеспечением. Использование современных технологий увеличивает возможности строительной организации не только на строительном рынке Российской Федерации, но и на мировом рынке, что немаловажно и для строительной отрасли страны в целом [18].

ВЫВОДЫ

Рассмотрение практических аспектов цифровой интеллектуальной поддержки организации жилищного строительства на этапе строительства жилых зданий на примере ЖК «Авиатор» в г. Иркутске выявило новые возможности и преимущества такой поддержки в решении ряда задач, начиная от задач в области проектирования, в области сопровождения процессов строительного производства

непосредственно на строительной площадке и заканчивая вопросами подготовки и сдачи объекта в эксплуатацию. Особое значение, указанное приобретает при организации жилищного строительства в условиях комплексного развития территорий.

Практика применения площадки 1С и программы Renga на примере группы компаний «Новый Город» свидетельствует о позитивных изменениях в управлении процессами организации жилищного строительства.

Применение цифровой интеллектуальной поддержки, автоматизации и моделирования на этапе строительства позволяет принимать наиболее эффективные решения по повышению надежности системы организации жилищного строительства, что приводит к сокращению сроков строительства объектов.

Как показали исследования внедрение элементов цифровой интеллектуальной поддержки в группе компаний «Новый Город» при строительстве ЖК «Авиатор» позволило сократить сроки строительства в среднем на три

месяца и тем самым снизить себестоимость строительства.

Цифровая интеллектуальная поддержка организации жилищного строительства – основа потенциала развития группы компаний «Новый Город». Благодаря цифровой интеллектуальной поддержке и автоматизации на

этапе строительства жилых зданий решается большинство задач группы компаний «Новый Город» в области улучшения количественно-качественных показателей и сокращения временных рамок строительства, что влияет на результаты экономических показателей деятельности группы компаний в целом.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Куликова А.А. В регионе объемы ввода жилья за 8 месяцев превысили 1 миллион квадратных метров // СИБДОМ. Аналитика и прогнозы. 2023. Режим доступа: <https://irk.sibdom.ru/news/19713/> (дата обращения: 20.11.2023).
2. Артюшкин О.В., Плотникова Т.Н. Цифровизация строительной отрасли // Вестник Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова. 2021. № 1 (35). С. 35–39. EDN: ELWWJY.
3. Лосев Ю.Г., Лосев К.Ю. Строительные системы здорового дома // Современное строительство и архитектура. 2018. № 4 (12). С. 18–22. <https://doi.org/10.18454/mca.2018.12.1>. EDN: YNNEWT.
4. Черепанов К.А. О развитии застроенных территорий // Доступное и комфортное жилье: проблемы, поиски, решения: материалы экспертного семинара (г. Иркутск, 30–31 мая 2012 г.). Иркутск, 2012. С. 278–280. EDN: VAAPYT.
5. Быков И.А. Искусственный интеллект как источник политических суждений // Журнал политических исследований. 2020. Т. 4. № 2. С. 23–33. <https://doi.org/10.12737/2587-6295-2020-23-33>. EDN: FCGCZO.
6. Бачурина С.С. Информационное моделирование: методология использования цифровых моделей в процессе перехода к цифровому проектированию и строительству. Ч. 1: Цифровой проектный менеджмент полного цикла в градостроительстве. Теория. М.: ДМК Пресс, 2021. 112 с.
7. Романова Т.А., Потужная И.Р., Марковский И.Г. BIM-технологии: проектирование, строительство, эксплуатация // Научные труды Кубанского государственного технологического университета. 2019. № 1. С. 156–164. EDN: YWTVNR.
8. Дудин М.Н., Шкодинский С.В. Тенденции, возможности и угрозы цифровизации национальной экономики в современных условиях // Экономика, предпринимательство и право. 2021. Т. 11. № 3. С. 689–714. <https://doi.org/10.18334/epp.11.3.111785>. EDN: NSOQAK.
9. Велесович С.А. Новые технологии, которые станут обязательными на рынке жилья 2020-х // РБК. 2019. Режим доступа: https://realty.rbc.ru/news/5dfa_257b9a79471754678a03 (дата обращения: 20.11.2023).
10. Юргайтис А.Ю. Алгоритмизация процессов формирования планов работ производственной программы строительной организации // Перспективы науки. 2019. № 12 (123). С. 135–138. EDN: NYOXCK.
11. Юргайтис А.Ю., Олейник П.П., Данилочкин М. Н., Гребенников А. Т. Оптимизация планов работ производственной программы строительной организации // Строительное производство. 2020. № 1. С. 33–37. https://doi.org/10.54950/26585340_2020_1_33. EDN: UUCNSL.
12. Фотин О.В. Система РКЦ «Иркутский каркас» многоэтажных зданий и сооружений // Жилищное строительство. 2015. № 5. С. 65–68. EDN: TTYICH.
13. Пешков В.В., Матвеева М.В., Безруких О.А., Рогов Д.С. Обеспечение процессов контроля качества на всех этапах жизненного цикла объектов капитального строительства в рамках концепции «Строительство 4.0» // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 1 (40). С. 90–97. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-90-97>. EDN: AINCLW.
14. Топчий Д.В., Юргайтис А.Ю., Юргайтис Ю.С., Попова А.Д. Оптимизация процессов планирования проектных работ и утверждения проектно-сметной документации объектов капитального строительства, реконструкции и перепрофилирования // Вестник гражданских инженеров. 2019. № 2 (73). С. 93–98. <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2019-16-2-93-98>. EDN: MNJOOW.
15. Сычев С.А. Научные и инновационные технологические основы нейтрализации дестабилизирующих факторов в условиях Крайнего Севера и Арктики: монография. Санкт-Петербург: Медиапапир, 2019. 512 с.
16. Лосев Ю.Г., Лосев К.Ю. О новом технологическом укладе в строительстве // Наукоемкие технологии и инновации: сб. докладов Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 65-летию Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (г. Белгород, 29 апреля 2019 г.). Белгород, 2019. Ч. 2. С. 60–64. EDN: TNPIAS.
17. Матвеева М.В., Адеглоба А.А.А. К вопросу организации процессов 4D-моделирования и управления ими в строительстве // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 2 (41). С. 190–195. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-2-190-195>. EDN: QVZRKL.

18. Светник Т.В. Корректировка стратегий строительства жилья в условиях кризиса // Известия Иркутской государственной экономической академии. 2015. Т. 25. № 6. С. 941–946. [https://doi.org/10.17150/1993-3541.2015.25\(6\).941-946](https://doi.org/10.17150/1993-3541.2015.25(6).941-946). EDN: VAWBWX.

REFERENCES

1. Kulikova A.A. In The Region, Housing Commissioning Volumes Exceeded 1 Million Square Meters In 8 Months. SIBDOM. Analytics and forecasts. Available from: <https://irk.sibdom.ru/news/19713/> [Accessed 20th November 2023]. (In Russ.).
2. Artyushkin O.V., Plotnikova T.N. Digitalization of The Construction Industry. *Vestnik Khakasskogo gosudarstvennogo universiteta im. N.F. Katanova* = *Bulletin of Khakass State University named after. N.F. Katanova*. 2021;1(35):35-39. (In Russ.). EDN: ELWWJY.
3. Losev Y.G., Losev K.Yu. Construction Systems of a Healthful House. *Sovremennoe stroitel'stvo i arkhitektura* = *Modern Construction and Architecture*. 2018;4 (12):18-22. (In Russ.). <https://doi.org/10.18454/mca.2018.12.1>. EDN: YNNEWT.
4. Cherepanov K. A. On the Development of Built-Up Areas. In: *Dostupnoe i komfortnoe zhil'e: problemy, poiski, resheniya: materialy ekspertnogo seminara* = *Affordable and Comfortable Housing: Problems, Searches, Solutions: Materials of the Expert Seminar*. 30-31 May 2012, Irkutsk. Irkutsk; 2012, p. 278-280. (In Russ.). EDN: VAAPYT.
5. Bykov I.A. Artificial Intelligence as A Source of Political Thinking. *Zhurnal politicheskikh issledovaniy* = *Journal of Political Research*. 2020;4;2:23-33. (In Russ.). <https://doi.org/10.12737/2587-6295-2020-23-33>. EDN: FCGCZO.
6. Bachurina S.S. *Information Modeling: A Methodology for Using Digital Models in The Transition to Digital Design and Construction. Part 1: Full-Cycle Digital Project Management in Urban Planning. Theory*. Moscow: DMK Press;2021. 112 p. (In Russ.).
7. Romanova T.A., Postuzhnaya I.R., Markovskii I.G. BIM-Technologies: Designing, Construction, Operation. *Nauchnye trudy Kubanskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta* = *Scientific Works of the Kuban State Technological University*. 2019;1:156-164. (In Russ.). EDN: YWTVNR.
8. Dudin M.N., Shkodinskiy S.V. Trends, Opportunities and Threats of Digitalization of the National Economy in Modern Conditions. *Ekonomika, predprinimatel'stvo i pravo* = *Journal of Economics, Entrepreneurship and Law*. 2021;11;3:689-714. (In Russ.). <https://doi.org/10.18334/epp.11.3.111785>. EDN: NSOQAK.
9. Velesovich S.A. New Technologies That Will Become Must-Haves in the 2020s Housing Market. RBC. Available from: <https://realty.rbc.ru/news/5dfa257b9a79471754678a03> [Accessed 20th November 2023]. (In Russ.).
10. Yurgaitis A.Yu. Algorithmization of Processes for the Formation of Production Scheduling For a Construction Organization. *Perspektivy nauki* = *Science Prospects*. 2019;12(123):135-138. (In Russ.). EDN: HYOXCK.
11. Oleynik P.P., Alexey Yu.P., Danilochkin M.N., Grebennikov A.T. Work Plans Optimization in Annual Production Program of a Construction Organization. *Stroitel'noe proizvodstvo* = *Construction production*. 2020;1:33-37. (In Russ.). https://doi.org/10.54950/26585340_2020_1_33. EDN: UUCNSL.
12. Fotin O.V. FBD "Irkutsk Frame" System for Multi-Storey Buildings and Structures. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* = *Housing Construction*. 2015;5:65-68. (In Russ.). EDN: TTYICH.
13. Peshkov A.V., Matveeva M.V., Bezrukikh O.A., Rogov D.S. Ensuring Quality Control Processes at All Stages of the Life Cycle of Capital Construction Projects under the Construction 4.0 Concept. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'* = *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12;1(40):90-97. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-90-97>. EDN: AIHCLW.
14. Topchiy D.V., Yurgaytis A.Yu., Yurgaytis Yu.S., Popova A.D. Optimization of Planning Processes for Project Works and Approval of Design Estimate Documentation of Objects of Capital Construction, Reconstruction and Reprofitting. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov* = *Bulletin of Civil Engineers*. 2019;2(73):93-98. (In Russ.). <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2019-16-2-93-98>. EDN: MHJOOW.
15. Sychev S.A. *Scientific and Innovative Technological Foundations for Neutralizing Destabilizing Factors in the Far North and Arctic: Monograph*. St. Petersburg: Mediapapier, 2019. 512 p. (In Russ.).
16. Losev Y.G., Losev K.Yu. About The New Technological Way in Construction. In: *Naukoemkie tekhnologii i innovatsii: sbornik dokladov Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 65-letiyu Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova* = *High Technology and Innovation: Collection of Reports of the International Scientific and Practical Conference Dedicated to The 65th Anniversary of The Belgorod State Technological University Named After. V.G. Shukhova*. 29 April 2019, Belgorod. Belgorod; 2019, Part 2, p. 60-64. (In Russ.). EDN: TNPIAS.
17. Matveeva M.V., Adegbola A.A.A. Organization and Management of 4D-Modelling Processes in Construction. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'* = *Proceedings of Universities. Investment. Con-*

struction. Real estate. 2022;12;2(41):190-195. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-2-190-195>. EDN: QVZRKL.

18. Svetnik T.V. Adjusting Housing Construction Strategies under the Housing Crisis. *Izvestiya Irkutskoi gosudarstvennoi ekonomicheskoi akademii = Bulletin of Baikal State University.* 2015;25;6:941-946. (In Russ.). [https://doi.org/10.17150/1993-3541.2015.25\(6\).941-946](https://doi.org/10.17150/1993-3541.2015.25(6).941-946). EDN: VAWBW.

Информация об авторах

Королек Артём Васильевич,

магистрант,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
✉e-mail: artyom-korolyok@yandex.by
<https://orcid.org/0009-0005-0718-3246>

Матвеева Мария Витальевна,

д.э.н., профессор,
профессор кафедры экспертизы и управления
недвижимостью,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
e-mail: expertiza@istu.edu
<https://orcid.org/0000-0002-9390-5444>
Autor ID: 505831

Пешков Артём Витальевич,

к.э.н., доцент,
доцент кафедры строительного производства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
e-mail: expertiza@istu.edu
<https://orcid.org/0000-0002-5027-5120>
Autor ID: 670943

Information about the authors

Artem V. Korolek,

Master's Student,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,
Russia,
✉e-mail: artyom-korolyok@yandex.by
<https://orcid.org/0009-0005-0718-3246>

Maria V. Matveeva,

Dr. Sci. (Econ.), Professor,
Professor of the Department
of Real Estate Expertise and Management,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,
Russia,
e-mail: expertiza@istu.edu
<https://orcid.org/0000-0002-9390-5444>
Autor ID: 505831

Artem V. Peshkov,

Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Building Production,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,
Russia,
e-mail: expertiza@istu.edu
<https://orcid.org/0000-0002-5027-5120>
Autor ID: 670943

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в
подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта ин-
тересов.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regard-
ing the publication of this article.

Все авторы прочитали и одобрили окончатель-
ный вариант рукописи.

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

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 11.01.2024.
Одобрена после рецензирования 29.01.2024.
Принята к публикации 30.01.2024.

Information about the article

The article was submitted 11.01.2024.
Approved after reviewing 29.01.2024.
Accepted for publication 30.01.2024.



Сравнение эффективности модификации микрокремнеземом облегченных бетонов на крупных заполнителях из различных горных пород

А.Б. Паскачев¹, Т.Г. Ржевская², С.А. Стельмах^{3✉},
Е.М. Щербань⁴, Л.Д. Маилян⁵, А.Л. Маилян⁶

¹Институт миграции и межнациональных отношений, г. Москва, Россия

²Научно-исследовательский центр «Строительство», г. Москва, Россия

^{3,4,5,6}Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

Аннотация. Перспективным направлением в строительной науке и практике является создание облегченных бетонов, характеризующихся так называемым коэффициентом конструктивного качества, т.е. относительной характеристикой между прочностью и весом получаемых бетонов. Данный коэффициент одновременно отражает максимально возможное снижение веса конструкции и ее эксплуатационную надежность. Целью исследования является сравнение эффективности модификации микрокремнеземом облегченных бетонов, полученных с помощью крупных заполнителей из различных горных пород. В исследовании проведен анализ существующей научной литературной базы по облегченным бетонам, их рецептуре, технологии и научной обоснованности, структурной совместимости применяемых компонентов. Проведено сравнение эффективности модификации облегченных бетонов при различных рецептурно-технологических параметрах. Прочность модифицированного облегченного бетона и его коэффициент конструктивного качества существенно изменялись в сравнении с немодифицированным облегченным бетоном. Наибольший эффект достигается при использовании облегченного бетона на гранитном щебне, модифицированного микрокремнеземом в количестве 9 %. В результате максимальная прочность на сжатие составила 55,9 МПа, а коэффициент структурного качества – $24,3 \cdot 10^{-3}$ МПа·м³/кг по сравнению с другими изученными составами бетона. Увеличение прочности на сжатие составило 17,2 % по сравнению с немодифицированным облегченным бетоном, а коэффициент конструктивного качества увеличился на 19,1 % по сравнению с немодифицированным бетоном на крупном плотном заполнителе.

Ключевые слова: облегченный бетон, крупный плотный заполнитель для бетона, пористый заполнитель для бетона, плотность бетона, прочность на сжатие бетона, коэффициент конструктивного качества бетона

Для цитирования: Паскачев А.Б., Ржевская Т.Г., Стельмах С.А., Щербань Е.М., Маилян Л.Д., Маилян А.Л. Сравнение эффективности модификации микрокремнеземом облегченных бетонов на крупных заполнителях из различных горных пород // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 1. С. 82–95. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-1-82-95>. EDN: JURMHA.

Original article

Comparison of the effectiveness of microsilica modification of lightweight concretes with coarse aggregates from various rocks

Aslambek B. Paskachev¹, Tat'yana G. Rzhevskaya², Sergei A. Stel'makh^{3✉},
Evgenii M. Shcherban'⁴, Liya D. Mailyan⁵, Aleksandr L. Mailyan⁶

¹Institute of Migration and Interethnic Relations", Moscow, Russia

²Research Center "Construction", Moscow, Russia

^{3,4,5,6}Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

Abstract. A promising line of research in construction science and practice is the creation of lightweight concretes. They exhibit the so-called strength-density ratio, i. e. a relative characteristic between the strength and weight of the resulting concrete. This ratio simultaneously reflects the maximum possible weight reduction of the structure and its operational reliability. The research aims to compare the effectiveness of microsilica modification of lightweight concretes produced with coarse aggregates from various rocks. The study analyzed the existing scientific literature on lightweight concretes, their formulations, technology, and scientific validity, as well as the structural compatibility of the components used. A comparison was made of the effectiveness of lightweight concrete modification for various formulation technological parameters. The strength of modified lightweight concrete and its strength-density ratio changed significantly compared to unmodified lightweight concrete. The strongest effect is achieved when using lightweight granite concrete modified with 9 % of microsilica. As a result, the maximum compressive strength was 55.9 MPa, and the strength-density ratio was $24.3 \cdot 10^{-3}$ MPa·m³/kg compared to other studied concrete compositions. The increase in compressive strength was 17.2 % compared to unmodified lightweight concrete. The strength-density ratio increased by 19.1 % compared to unmodified coarse dense aggregate concrete.

Keywords: lightweight concrete, coarse dense aggregate for concrete, porous aggregate for concrete, density of concrete, compressive strength of concrete, structural quality factor of concrete

For citation: Paskachev A.B., Rzhevskaya T.G., Stel'makh S.A., Shcherban' E.M., Mailyan L.D., Mailyan A.L. Comparison of the effectiveness of microsilica modification of lightweight concretes with coarse aggregates from various rocks. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(1):82-95. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-1-82-95>. EDN: JURMHA.

ВВЕДЕНИЕ

Сложные условия инженерного строительства, такие как инженерно-геологические проблемы, плотность городской застройки, необходимость возведения зданий нового поколения в районах с более старой инфраструктурой и по соседству со зданиями, возведенными значительное время назад, диктует необходимость к пересмотру строительно-производственной базы по возведению зданий, сооружений и жилых производственных районов [1]. Следует понимать, что совершенствование производственно-строительной базы заключается не только в обновлении оборудования, внедрении новых инновационных технологий, основанных в первую очередь на цифровизации и автоматизации, но и, безусловно, в необходимости пересмотра материальной базы для строительства, а также конструктивных и технологических решениях [2, 3]. В части материальной базы строительства следует понимать принципиально новый подход к применяемым материалам, изделиям и конструкциям, что во многом обуславливает разработку новых рецептурно-технологических решений для создания строительных объектов [4, 5]. В этой связи важнейшим направлением современной строительной науки и инженерии является создание материалов, позволяющих получать объекты с наименьшей ресурсо-, трудо- и материалоемкостью [1]. Строительные композиты, в первую очередь бетоны, предназначены для решения этой проблемы, хотя

проблемы зачастую являются комплексными. Необходимо не только создавать новые материалы, изделия и конструкции с улучшенными характеристиками, но и добиваться иных их эксплуатационных качеств, например, снижения площади рабочих сечений, получения наиболее энергоэффективных и энергосберегающих зданий и сооружений. Здесь на первый план выходит рецептура исходных изделий [6–8]. Перспективным направлением в строительной науке и практике является создание облегченных бетонов, обладающих рядом характеристик, важнейшей из которых является так называемый коэффициент конструктивного качества, т.е. относительная характеристика между прочностными и плотностными свойствами создаваемых бетонов [6, 7, 9]. Данный коэффициент как нельзя лучше характеризует одновременно максимально возможное снижение веса конструкции, т.е. показатель ее универсальности, и ее эксплуатационную надежность, т.е. показатель, выражающийся в прочностных приростах или сохранении их на уровне, сопоставимом с тяжелыми бетонами [7]. Рецептура облегченных бетонов играет особую роль в технологическом процессе и имеет ряд специфических сложностей и особенностей. Такие особенности во многом обусловлены слабой степенью изученности применимости различных модифицирующих добавок в бетоны и их сочетаемости с другими компонентами получаемого облегченного бетона [10, 11–13]. Такой научный дефицит и опреде-

лил цель настоящего исследования. Цель исследования – аналитическое и экспериментальное сравнение эффективности модификации микрокремнеземом облегченных бетонов, полученных с помощью крупных заполнителей из различных горных пород. Задачами исследования будут: анализ существующей научной литературной базы по облегченным бетонам, их рецептуре, технологии и научной обоснованности, структурной совместимости применяемых компонентов; проведение масштабных экспериментальных исследований по изучению влияния рецептурно-технологических факторов при модификации микрокремнеземом облегченных бетонов на их эксплуатационные характеристики; сравнение эффективности такой модификации при различных исходных рецептурно-технологических параметрах, обусловивших разницу в приростах показателей эффективности и, в первую очередь, плотности,

прочности, коэффициента конструктивного качества.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании были использованы следующие исходные материалы:

- вяжущее: портландцемент ЦЕМ 0 42,5Н ГОСТ 31108-2020¹ (г. Старый Оскол);
 - мелкий заполнитель: кварцевый песок ГОСТ 8736-2014² (Ростовская область);
 - крупный заполнитель: щебень гранитный (Воронежская область); щебень из песчаника и известняковый щебень (Ростовская область) ГОСТ 8267-93³; керамзитовый гравий (Тульская область) ГОСТ 32496-2013⁴ (все виды крупного заполнителя из смеси фракций 5–20 мм);
 - микрокремнезем МК-85 (Липецкая область), диапазон размеров частиц 2–300 мкм.
- Свойства исходных компонентов бетона приведены в табл. 1–4.

Таблица 1. Характеристики бездобавочного портландцемента

Table 1. Characteristics of additive-free Portland cement

Характеристика	Значение
Прочность на сжатие, МПа, в возрасте 2 сут.	26,3
Прочность на сжатие, МПа, в возрасте 28 сут.	56,5
Начало схватывания, мин	85
Равномерность изменения объема (расширение), мм	0

Таблица 2. Характеристики мелкого заполнителя (песка)

Table 2. Characteristics of fine aggregate (sand)

Характеристика	Значение
Класс, группа, модуль крупности	I, средний, 2,42
Насыпная плотность, кг/м ³	1390
Содержание пылевидных и глинистых частиц, %	0,9
Содержание глины в комках, %	0

Таблица 3. Характеристики щебня гранитного (Г), из песчаника (П), известнякового (И) и керамзитового гравия (К)

Table 3. Characteristics of crushed granite (G), sandstone (P), limestone (I) and expanded clay gravel (K)

Характеристика	Значение			
	Г	П	И	К
Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы, % по массе	7,3	8,5	8,8	–
Марка по прочности	Др1200	Др1000	Др800	П200
Насыпная плотность, кг/м ³	1383	1375	1369	650
Марка по морозостойкости	F200	F150	F100	F25
Содержание пылевидных и глинистых частиц, %	0	0,2	0,5	–
Содержание глины в комках, %	0	0	0	–
Водопоглощение, %	0,65	1,03	2,41	18,4

¹ГОСТ 31108-2020. Цементы общестроительные. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2020. 16 с.

²ГОСТ 8736-2014. Песок для строительных работ. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2019. 10 с.

³ГОСТ 8267-93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2018. 13 с.

⁴ГОСТ 32496-2013. Заполнители пористые для легких бетонов. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2014. 10 с.

Составы бетонных смесей, разработанные для исследования, представлены в табл. 5.

Во всех составах облегченного бетона дозировка керамзитового гравия составляла 20% от объема крупного заполнителя, ранее подобранная в работе [14].

План экспериментальных исследований представлен на рис. 1.

Для определения плотности и прочности

на сжатие было заформовано 9 образцов кубов из тяжелого бетона (без керамзита и микрокремнезема) – по 3 образца для каждого вида крупного плотного заполнителя.

Также было изготовлено 63 образца-куба облегченного бетона (с керамзитом и различной дозировкой микрокремнезема от 0 % до 18 %) – по 21 образцу для каждого вида крупного плотного заполнителя.

Таблица 4. Химический состав модификатора (микрокремнезема)

Table 4. Chemical composition of the modifier (silica)

Вид оксида	Количество, %	Вид оксида	Количество, %
SiO ₂	90,403	Cl	0,235
Fe ₂ O ₃	2,717	MnO	0,138
K ₂ O	1,998	P ₂ O ₅	0,115
Al ₂ O ₃	1,101	ZnO	0,029
Na ₂ O	1,004	NiO	0,009
CaO	0,987	CuO	0,007
MgO	0,643	Cr ₂ O ₃	0,001
SO ₃	0,613	—	—

Таблица 5. Составы бетонных смесей

Table 5. Compositions of concrete mixtures

Маркировка смеси	Количество компонентов на 1 м ³ бетонной смеси					
	Цемент, кг/м ³	Вода, кг/м ³	Щебень (И/П/Г), кг/м ³	Керамзит, кг/м ³	Песок, кг/м ³	МК, кг/м ³
ОМК–И/П/Г	388	219	1030	0	782	0
ОМК–И+К/П+К/Г+К	388	219	932	98	782	0
ЗМК–И+К/П+К/Г+К	376,4	219	932	98	782	11,6
6МК–И+К/П+К/Г+К	364,7	219	932	98	782	23,3
9МК–И+К/П+К/Г+К	353,1	219	932	98	782	34,9
12МК–И+К/П+К/Г+К	341,4	219	932	98	782	46,6
15МК–И/П/Г	329,8	219	932	98	782	58,2
18МК–И/П/Г	318,2	219	932	98	782	69,8

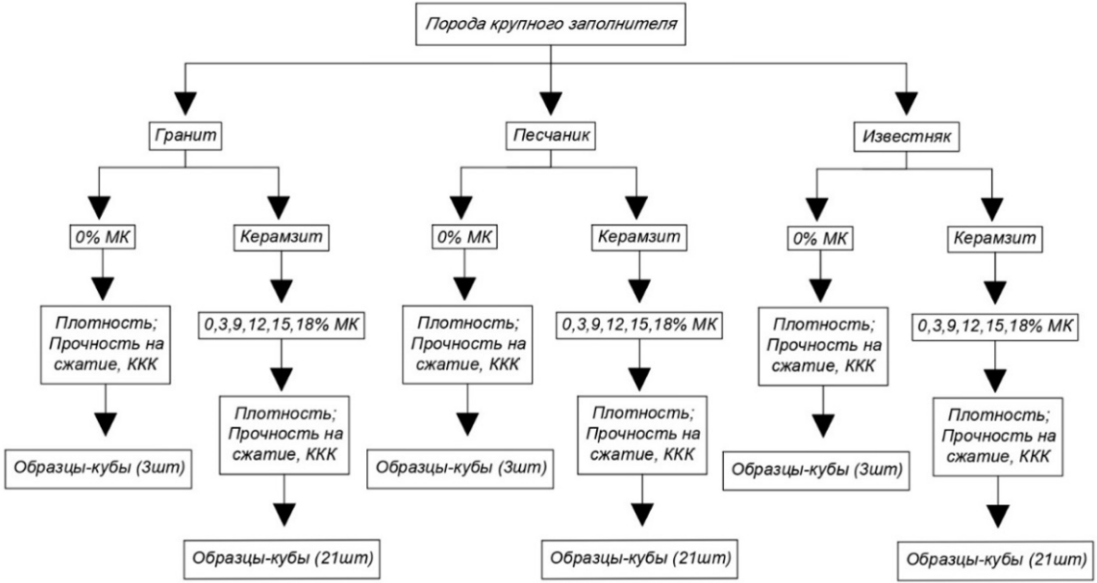


Рис. 1. Программа экспериментальных исследований

Fig. 1. Experimental research program

Всего было изготовлено 72 образца-куба. Плотность бетона определяли по ГОСТ 12730.1-2020⁵. Прочность на сжатие бетона определяли по ГОСТ 10180-2012⁶. Коэффициент конструктивного качества (ККК) бетона определяли по формуле

$$KKK = \frac{R}{\rho},$$

где R – прочность на сжатие, МПа;

ρ – плотность, кг/м³.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Физико-механические характеристики образцов облегченного бетона всех экспериментальных составов и их графические зависимости от параметров рецептуры приведены в табл. 6 и 7 и на рис. 2 и 3.

Значения плотности образцов бетона подобранных составов представлены в табл. 6 и на рис. 2.

Таблица 6. Плотность образцов облегченного бетона (кг/м³) на крупном заполнителе из различных горных пород, модифицированного микрокремнеземом

Table 6. Density of samples of lightweight concrete (kg/m³) on a large aggregate of various rocks modified with silica

Порода и состав щебня	Содержание микрокремнезема, %						
	0	3	6	9	12	15	18
Г+К / Г	2465/ 2278	2291	2296	2304	2301	2288	2267
П+К / П	2378/ 2197	2205	2211	2215	2208	2202	2190
И+К / И	2262/ 2063	2069	2073	2075	2072	2065	2058

Примечание: через дробь – плотность бетона на крупном плотном заполнителе / плотность облегченного бетона на смешанном заполнителе.

Таблица 7. Прочность на сжатие облегченного бетона (МПа) на крупном заполнителе из различных горных пород, модифицированного микрокремнеземом

Table 7. Compressive strength of lightweight concrete (MPa) on a large aggregate of various rocks modified with silica

Порода и состав щебня	Количество микрокремнезема, %						
	0	3	6	9	12	15	18
Г+К / Г	50,4/47,7	49,2	51,6	55,9	53,2	48,7	46,3
П+К / П	47,7/44,9	46,2	47,8	51,7	49,3	45,8	43,2
И+К / И	43,4/40,1	41,4	42,6	45,2	43,6	41,1	38,5

Примечание: через дробь прочность на сжатие бетона на крупном плотном заполнителе / прочность на сжатие облегченного бетона на смешанном заполнителе.

Из данных табл. 6 и зависимостей (рис. 2) можно сделать вывод, что плотность облегченного бетона логично снижается при замене 20 % крупного плотного заполнителя на пористый. При этом при добавлении в облегченный бетон микрокремнезема плотность несколько увеличивается вплоть до 9 %, затем снижается при количестве микрокремнезема 9–18 %, что характерно для всех бетонов независимо от вида заполнителя. Значения прочности на сжатие образцов бетона подобранных составов представлены в табл. 7 и на рис. 3. Анализ данных, представленных на рис. 3, позволяет сделать вывод о том, что

прочность облегченного бетона повышается при увеличении количества микрокремнезема на 0–9 %, в точке 9% наблюдается пик, и далее – чуть более резкое снижение прочности в сравнении с ее подъемом. Таким образом, максимальную прочность имели облегченные бетоны, содержащие 9 % микрокремнезема. Данные результаты характерны для бетонов независимо от вида крупного заполнителя с преимуществом в прочности бетона на гранитном щебне по сравнению с бетоном на щебне из песчаника и тем более на щебне из известняка. При этом прочность модифицированного облегченного бетона падает ниже

⁵ГОСТ 12730.1-2020. Методы определения плотности. М.: Стандартиформ, 2021. 8 с.

⁶ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. М.: Стандартиформ, 2018. 32 с.

прочности немодифицированного облегченного бетона только при дозировках микрокремнезема более 15 %. Микрокремнезем обеспечивает более плотную упаковку частиц, а также способствует дополнительному образованию гидрата силиката кальция.

Следовательно, большее количество гид-

рата силиката кальция способствует более плотной упаковке частиц инертных компонентов, а также более быстрому затвердеванию бетона и, соответственно, более высоким значениям прочности на сжатие [15–19]. Далее объединим результаты по плотности и прочности на сжатие бетонов.

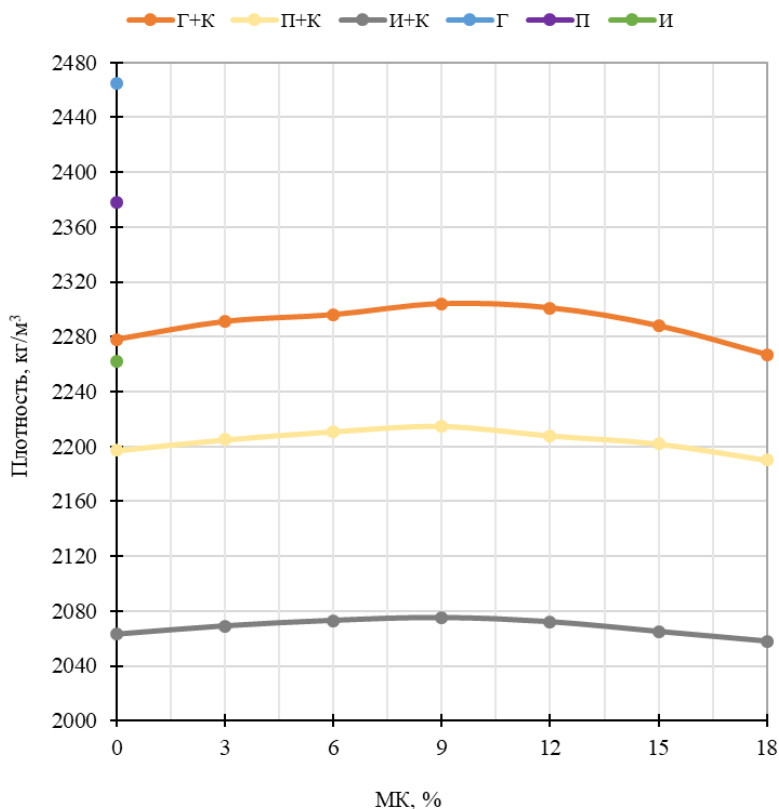


Рис. 2. Плотность облегченного бетона на различных видах крупного заполнителя в зависимости от количества микрокремнезема
Fig. 2. The density of lightweight concrete on various types of coarse aggregate, depending on the amount of silica

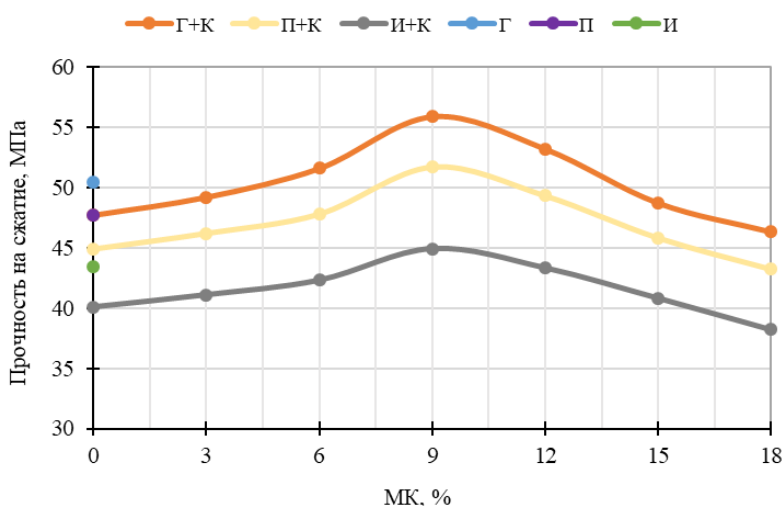


Рис. 3. Прочность на сжатие облегченного бетона на различных видах крупного заполнителя в зависимости от количества микрокремнезема
Fig. 3. Compressive strength of lightweight concrete on various types of coarse aggregate depending on the amount of microsilicon

В табл. 8 и на рис. 4 представлены зависимости комплексного показателя – коэффициента конструктивного качества, характеризующего отношение прочности материала к его плотности. Результаты, отраженные в графических зависимостях на рис. 4, демонстрируют эффективность облегченного бетона в сравнении с традиционным бетоном по соотношению прочности и плотности.

Применение микрокремнезема в подобранной дозировке 9 % еще больше увеличивает данную эффективность облегченного

бетона, который демонстрирует максимальное значение ККК – $24,3 \cdot 10^{-3}$ МПа·м³/кг. По данному показателю все облегченные модифицированные бетоны на каждом рассматриваемом виде заполнителя ведут себя лучше, нежели без модификации.

Таким образом, коэффициент конструктивного качества увеличился за счет значительного увеличения прочности, при этом масса конструкций практически не изменилась от введения модифицирующей добавки.

Таблица 8. Коэффициент конструктивного качества бетона (10^{-3} МПа·см³/г) на крупном заполнителе из различных горных пород, модифицированного микрокремнеземом
Table 8. Coefficient of structural quality of concrete (10^{-3} МПа см³/g) on a large aggregate of various rocks modified with silica

Порода и состав щебня	Количество микрокремнезема, %						
	0	3	6	9	12	15	18
Г+К / Г	20,4/20,9	21,5	22,5	24,3	23,1	21,3	20,4
П+К / П	20,1/20,4	21,0	21,6	23,3	22,3	20,8	19,7
И+К / И	19,2/19,4	19,9	20,4	21,6	20,9	19,8	18,6

Примечание: через дробь прочность на сжатие бетона на крупном плотном заполнителе / прочность на сжатие облегченного бетона на смешанном заполнителе.

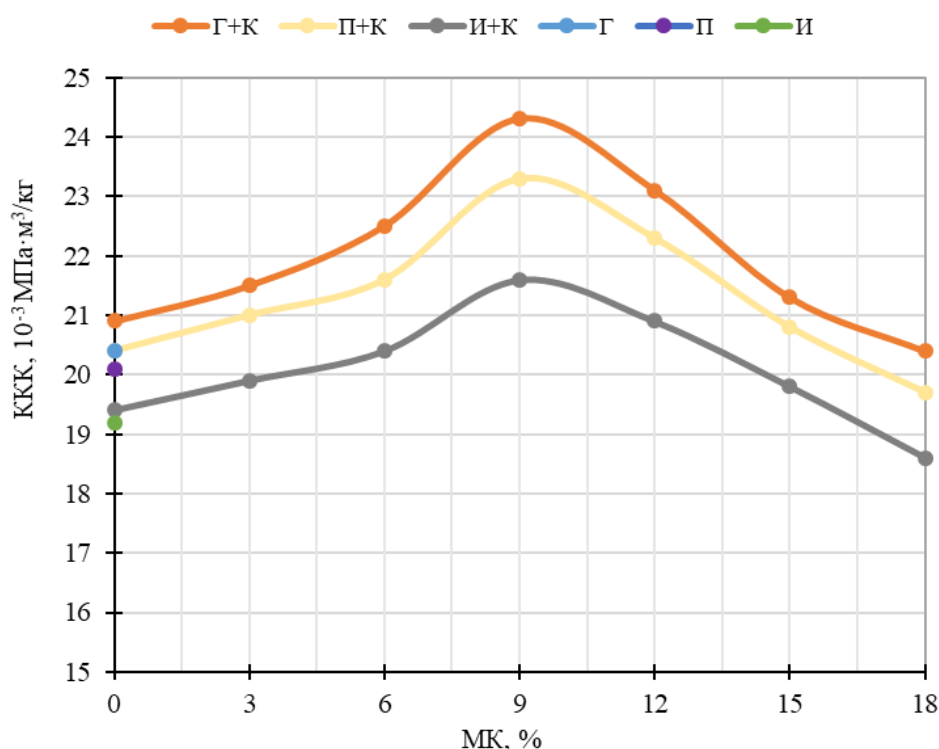


Рис. 4. Коэффициент конструктивного качества (ККК) бетона на крупном заполнителе из различных горных пород в зависимости от количества микрокремнезема
Fig. 4. Coefficient of constructive quality (CCQ) of concrete on a large aggregate of various rocks, depending on the amount of microsilicon

Еще один этап данного исследования заключался в анализе изменений прочности на сжатие и коэффициента конструктивного качества облегченного бетона на различных видах заполнителей при варьировании количества модифицирующей добавки.

Результаты анализа представлены в табл. 9 и 10 и на рис. 5 и 6. Сравнение значений увеличения прочности на сжатие и показало наибольший рост данного свойства у облегченного бетона с гранитным заполнителем (17,2 %) в

сравнении с песчаником (15,1 %) и известняковым щебнем (12,0 %).

Сравнение значений увеличения ККК, как комплексного показателя, характеризующего отношение изменения прочности бетона к изменению его веса, подтвердило предыдущие результаты по прочности на сжатие и показало наибольший рост данного коэффициента у облегченного бетона, модифицированного 9 % микрокремнезема, на гранитном щебне (19,1 %), нежели у такого же бетона на песчанике (15,9 %) и известняковом крупном заполнителе (12,5 %).

Таблица 9. Разница в прочности на сжатие облегченного бетона (%) на крупном заполнителе из различных горных пород, модифицированного микрокремнеземом

Table 9. Difference in compressive strength of lightweight concrete (%) on a large aggregate of various rocks modified with silica

Порода и состав щебня	Количество микрокремнезема, %						
	0	3	6	9	12	15	18
Г+К	0	3,14	7,56	17,19	11,53	2,10	-2,90
П+К	0	2,85	6,38	15,10	9,74	1,95	-3,80
И+К	0	2,49	5,49	12,0	8,0	1,74	-4,74

Таблица 10. Разница в ККК облегченного бетона (%) на крупном заполнителе из различных горных пород, модифицированного микрокремнеземом

Table 10. The difference in CCQ of lightweight concrete (%) on a large aggregate of various rocks modified with silica

Порода и состав щебня	Количество микрокремнезема, %							
	0*	0	3	6	9	12	15	18
Г+К (Г*)	0	2,45	5,39	10,29	19,12	13,24	4,41	0
П+К (П*)	0	1,49	4,48	7,46	15,92	10,95	3,48	-1,99
И+К (И*)	0	1,04	3,65	6,25	12,5	8,85	3,13	-3,12

Примечание: * – бетон без пористого заполнителя.

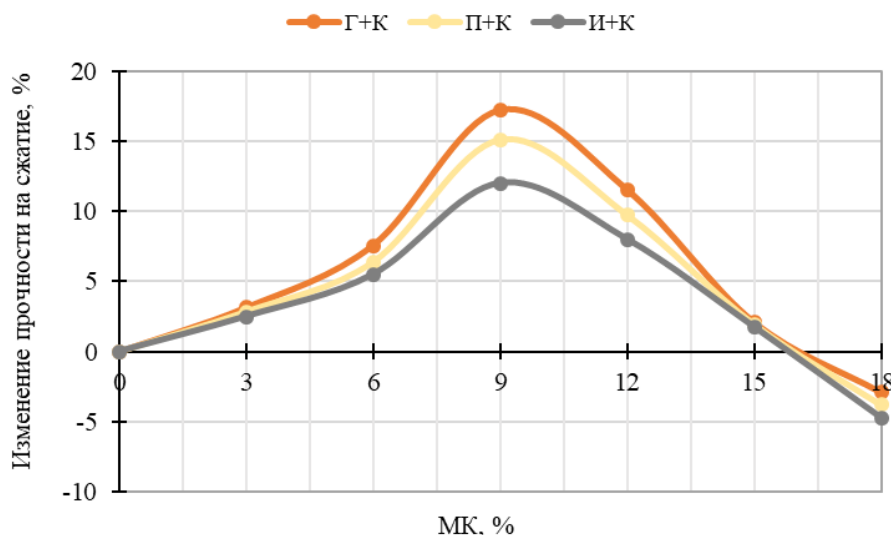


Рис. 5. Изменение прочности на сжатие облегченного бетона на различных видах крупного заполнителя, модифицированного микрокремнеземом

Fig. 5. Change in the compressive strength of lightweight concrete on various types of coarse aggregate modified with silica

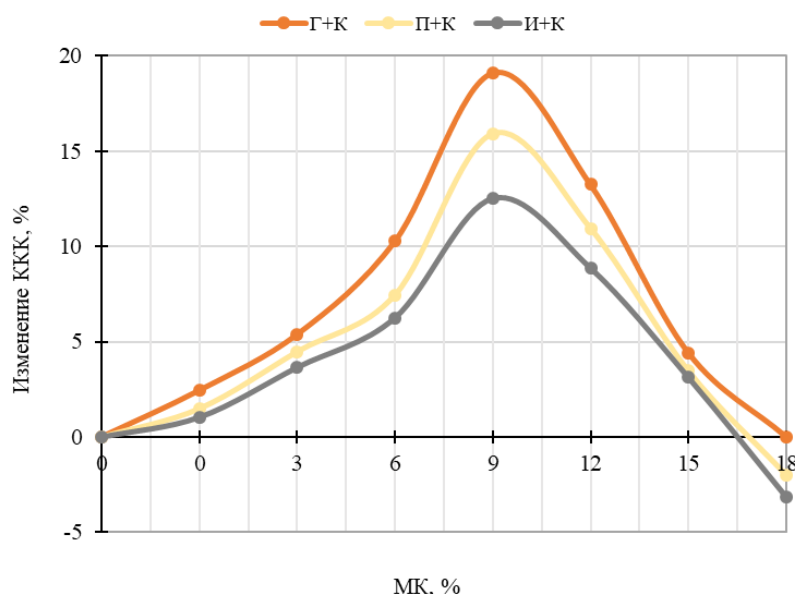


Рис. 6. Изменение коэффициента конструктивного качества на различных видах крупного заполнителя, модифицированного микрокремнеземом
Fig. 6. Changes in coefficient of structural quality of concrete for various types of coarse aggregate modified with microsilica

Эти увеличения зафиксированы в сравнении с бетонами без пористого заполнителя и без модифицирующей добавки.

Подытоживая все полученные результаты, можно сделать вывод о наибольшей эффективности облегченного бетона на гранитном щебне, модифицированном микрокремнеземом в количестве 9 %. Эта эффективность проявляется в наибольших значениях прочности на сжатие (55,9 МПа) и ККК ($24,3 \cdot 10^{-3}$ МПа $\cdot$ м³/кг) и увеличения прочности на сжатие (17,2 %) и ККК (19,1 %).

Проанализируем полученные результаты с точки зрения качественной и количественной картины распределения свойств и особенностей структурообразования бетонов на комбинированном крупном заполнителе, включающем плотные и пористые зерна.

Итак, как было установлено в ходе экспериментальных исследований, качественная картина подтверждает рабочую гипотезу исследования в том плане, что наилучшей структурой и свойствами, очевидно, обладает бетон с применением щебня из наиболее высокопрочной, плотной и высококачественной гранитной породы, при условии рациональной дозировки и соотношения между гранитным щебнем и керамзитовым гравием в составе применяемого крупного заполнителя.

Следует отметить, что при этом наблюдается максимальный комплексный эффект, заключающийся в одновременном улучшении качественной картины структурообразования за счет создания относительно релаксирован-

ных зон с получением при этом максимально плотной упаковки частиц в межзерновом пространстве. Достигается это с помощью модификации микрокремнеземом, т.е. на выходе формируется новый композит – микромодифицированный облегченный бетон на основе смеси заполнителей (гранитного щебня и керамзитового гравия). Тем самым, учитывая особенности формы зерен, а именно шероховатую угловатую поверхность гранитного щебня и окатанную, но, тем не менее, относительно шероховатую поверхность керамзитового гравия, и с учетом максимально рациональной дозировки компонентов с применением песка, соответствующего требованиям нормативной документации, и микромодификатора в оптимальном процентном соотношении, слитность структуры достигается в максимальном значении. В то же время помимо абсолютных показателей, таких как слитность структуры и прочностные характеристики, важны относительные характеристики, и в первую очередь коэффициент конструктивного качества.

Такой коэффициент показывает достоверную картину максимальной эффективности примененного способа, выраженную в оптимальности разработанного состава с применением модификации микрокремнеземом в количестве 9 %, а также комбинации двух видов заполнителей. В конечном итоге возникает наилучшее соотношение эксплуатационных и физико-механических свойств. Таким образом, прирост коэффициента конструктивного

качества является высокоточным показателем, отражающим количественную картину полученного результата.

Что же касается остальных составов с применением других видов плотного заполнителя, таких как известняк и песчаник, то эффективность предложенной комплексной модификации оказалась несколько ниже, чем у облегченного бетона с применением гранита, что также показывает определенную закономерность, выраженную в сформулированной ниже взаимосвязи. Установлено, что повышение качества применяемого тяжелого заполнителя из плотных горных пород в предложенном способе ведет к увеличению коэффициента конструктивного качества бетона, что обуславливается в первую очередь приростом его механических характеристик при сопутствующем сохранении в относительном значении плотностных и весовых характеристик.

ВЫВОДЫ

В исследовании проведен анализ существующей научной литературной базы по облегченным бетонам, их рецептуре, технологии и научной обоснованности, структурной совместимости применяемых компонентов. Проведены экспериментальные исследования по изучению влияния рецептурно-технологических факторов при модификации

микрокремнеземом облегченных бетонов на их эксплуатационные характеристики. Проведено сравнение эффективности такой модификации при различных исходных рецептурно-технологических параметрах, обусловивших разницу в приростах показателей эффективности и, в первую очередь, плотности, прочности и коэффициента конструктивного качества.

Модификация микрокремнеземом не приводит к существенному изменению плотности облегченных бетонов: с увеличением количества модификатора плотность сначала показывает небольшой рост, затем небольшое уменьшение. Прочность же модифицированного облегченного бетона и его ККК существенно изменяются в сравнении с немодифицированным облегченным бетоном.

Наибольшую эффективность показал облегченный бетон на гранитном щебне, модифицированный микрокремнеземом в количестве 9%.

Эта эффективность отразилась в наибольших значениях прочности на сжатие (55,9 МПа) и ККК ($24,3 \cdot 10^{-3}$ МПа·м³/кг) и увеличения прочности на сжатие (17,2 %) в сравнении с немодифицированным облегченным бетоном и ККК (19,1 %) при сопоставлении с немодифицированным бетоном на крупном плотном заполнителе.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Баженов Ю.М., Федюк Р.С., Лесовик В.С. Обзор современных высокоэффективных бетонов // Наукоемкие технологии и инновации: материалы Международной науч.-практ. конф., посвященной 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова (г. Белгород, 29 апреля 2019 г.). Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2019. Ч. 4. С. 45–49. https://doi.org/10.12737/conferencearticle_5cecedc1472d77.15382194. EDN: MOGOKR.
2. Абдыкалыков Т.А., Джамаева А.М. Облегченные мелкозернистые бетоны на основе композиционных вяжущих веществ // Материаловедение. 2017. № 2 (22). С. 20–23. EDN: FTHADU.
3. Khalyushev A., Mayilyan A., Stelmakh S., Shcherban E. The activation technology for the surface modification high voltage electric field dispersed mineral additives for concrete // Materials science forum. 2020. Vol. 1011. P. 23–30. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.1011.23>.
4. Федосов С.В., Акулова М.В., Гунина Н.М., Потемкина О.В. Исследование влияния вида и размера заполнителя на свойства цементного композита // Строительство и реконструкция. 2012. № 3 (41). С. 59–65. EDN: OZMCHJ.
5. Леонович С.Н., Полейко Н.Л. Эксплуатационные характеристики бетона на заполнителе из осадочных горных пород // Строительные материалы. 2016. № 8. С. 66–69. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2016-740-8-66-69>.
6. Чернильник А.А., Ельшаева Д.М., Жеребцов Ю.В., Доценко Н.А., Самофалова М.С. Выбор рациональной рецептуры облегченных бетонов на смеси керамзитового гравия, природного щебня и гранулированного шлака // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2021. № 12. С. 34–42. <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2021-6-12-34-42>. EDN: RZZMMM.
7. Mailyan L.R., Beskopylny A.N., Meskhi B., Stel'makh S.A., Shcherban E.M., Ananova O. Optimization of composition and technological factors for the lightweight fiber-reinforced concrete production on a combined aggregate with an increased coefficient of structural quality // Applied Sciences. 2021. Vol. 11. Iss. 16. P. 7284. <https://doi.org/10.3390/app11167284>.

8. Смоляниченко А.С., Чернильник А.А., Ельшаева Д.М., Жеребцов Ю.В., Доценко Н.А., Самофалова М.С., и др. Вариатронная эффективность центробежно уплотненных облегченных бетонов на комбинированных заполнителях // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2021. Т. 11. № 4 (39). С. 662–673. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-4-662-673>. EDN: VSPZWF.
9. Shcherban' E.M., Stel'makh S.A., Beskopylny A., Mailyan L.R., Meskhi B., Varavka V. Nanomodification of Lightweight Fiber Reinforced Concrete with Micro Silica and Its Influence on the Constructive Quality Coefficient // Materials. 2021. Vol. 14. Iss. 23. P. 7347. <https://doi.org/10.3390/ma14237347>.
10. Abdelgader H.S., Fediuk R.S., Kurpinska M., Khatib J., Murali G., Baranov A.V., et al. Mechanical properties of two-stage concrete modified by silica fume // Magazine of Civil Engineering. 2019. Vol. 89. Iss. 5. P. 26–38. <https://doi.org/10.18720/MCE.89.3>. EDN: ATOSCY.
11. Адилходжаев А.И., Махаматалиев И.М., Цой В.М., Шаумаров С.С. Научно-обоснованная методика подбора добавок при проектировании состава комплексно-модифицированных бетонов // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2019. № 2. С. 269–279. EDN: ZYJKWL.
12. Нелюбова В.В., Усиков С.А., Строкова В.В., Нецвет Д.Д. Состав и свойства самоуплотняющегося бетона с использованием комплекса модификаторов // Строительные материалы. 2021. № 12. С. 48–54. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-798-12-48-54>. EDN: MWNAJK.
13. Кашапов Н.Ф., Ямалеев М.М., Лукашин Л.Н., Гребенчиков Е.А., Гилев И.Ю., Кашапов Р.Н., и др. Структура и анализ наночастиц аморфного диоксида кремния // Строительные материалы и изделия. 2022. Т. 5. № 6. С. 85–94. <https://doi.org/10.58224/2618-7183-2022-5-6-85-94>. EDN: JFTZBK.
14. Özkılıç Y.O., Beskopylny A.N., Stel'makh S.A., Shcherban' E.M., Mailyan L.R., Meskhi B., et al. Lightweight expanded-clay fiber concrete with improved characteristics reinforced with short natural fibers // Case studies in construction materials. 2023. Vol. 19. P. e02367. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02367>.
15. Rassokhin A.S., Ponomarev A.N., Figovsky O.L. Silica fumes of different types for high-performance fine-grained concrete // Magazine of civil engineering. 2018. Vol. 2 (78). P. 151–160. <https://doi.org/10.18720/MCE.78.12>. EDN: XPKZUT.
16. Джаббаров Н.Э., Гасанова У.Ф. Влияние добавки микрокремнезема на прочность бетона // Проблемы науки. 2022. № 1 (69). С. 12–15.
17. Bily P., Fladr J., Chylik R., Vrablik L., Hrbek V. The effect of cement replacement and homogenization procedure on concrete mechanical properties // Magazine of civil engineering. 2019. Vol. 2 (86). P. 46–60. <https://doi.org/10.18720/MCE.86.5>. EDN: ZBEMFY.
18. Ибрагимова А.Р., Конюхов В.Ю., Опарина Т.А. Микрокремнезем как модификатор // Жизненный цикл конструкционных материалов: материалы XII Всероссийской научно-технической конференции (г. Иркутск, 06 июня 2022 г.). Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2022. С. 282–285. EDN: CCKBJE.
19. Khalyushev A., Stelmakh S., Shcherban E., Chernilnik A. Structural formation of the cement pastes based on the concrete modified dispersed mineral components // Materials science forum. 2020. Vol. 1011. P. 14–22. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.1011.14>.

REFERENCES

1. Bazhenov Yu.M., Fedyuk R.S., Lesovik V.S. Review of modern high-performance concretes. In: *Naukoemkie tekhnologii i innovatsii: materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 65-letiyu BGTU im. V.G. Shukhova = High-tech technologies and innovations: materials of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 65th anniversary of V.G. Shukhov BSTU*. 29 April 2019, Belgorod. Belgorod: Belgorod State Technological University V.G. Shukhov; 2019. Part 4. p. 45–49. (In Russ.). https://doi.org/10.12737/conferencearticle_5cecedc1472d77.15382194. EDN: MOGOKR.
2. Abdykalykov T.A., Dzhamalova A.M. Lightweight fine-grained concretes based on composite binders. *Materialovedenie*. 2017;2:20–23. (In Russ.). EDN: FTHADU.
3. Khalyushev A., Mailyan A., Stelmakh S., Shcherban E. The activation technology for the surface modification high voltage electric field dispersed mineral additives for concrete. *Materials science forum*. 2020;1011:23–30. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.1011.23>.
4. Fedosov S.V., Akulova M.V., Gunina N.M., Potemkina O.V. Investigation of the influence of the type and size of aggregate on the properties of cement composite. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya = Building and reconstruction*. 2012;3(41):59–65. (In Russ.). EDN: OZMCHJ.
5. Leonovich S.N., Poleyko N.L. Operational characteristics of concrete on aggregate from sedimentary rocks. *Stroitel'nye materialy = Building materials*. 2016;8:66–69. (In Russ.). <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2016-740-8-66-69>.
6. Chernil'nik A., El'shaeva D., Zherebtsov Y., Dotsenko N., Samofalova M. Selection of a rational recipe of

- lightweight concrete on a mixture of ceramsite gravel, natural crushed stone and granular slag. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova* = *Bulletin of Belgorod state technological university named after V.G. Shukhov*. 2021;12:34-42. (In Russ.). <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2021-6-12-34-42>. EDN: RZZMMM.
7. Mailyan L.R., Beskopylny A.N., Meskhi B., Stel'makh S.A., Shcherban E.M., Ananova O. Optimization of composition and technological factors for the lightweight fiber-reinforced concrete production on a combined aggregate with an increased coefficient of structural quality. *Applied Sciences*. 2021;11(16):7284. <https://doi.org/10.3390/app11167284>.
8. Smolyanichenko A.S., Chernil'nik A.A., El'shaeva D.M., Zherebtsov Yu.V., Dotsenko N.A., Samofalova M.S., et al. Variatropic efficiency of centrifugal lightened concrete based on combined fillers. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'* = *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2021;11(4):662-673. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-4-662-673>. EDN: VSPZWF.
9. Shcherban' E.M., Stel'makh S.A., Beskopylny A., Mailyan L.R., Meskhi B., Varavka V. Nanomodification of lightweight fiber reinforced concrete with micro silica and its influence on the constructive quality coefficient. *Materials*. 2021;14(23):7347. <https://doi.org/10.3390/ma14237347>.
10. Abdelgader H.S., Fediuk R.S., Kurpinska M., Khatib J., Murali G., Baranov A.V., et al. Mechanical properties of two-stage concrete modified by silica fume. *Magazine of Civil Engineering*. 2019;89(5):26-38. <https://doi.org/10.18720/MCE.89.3>. EDN: ATOSCY.
11. Adilhodjaev A.I., Mahamataliev I.M., Tsoy V.M., Shaumarov S.S. Scientifically-based methodology for the selection of additives in the design of the composition of complex-modified concrete. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2019;2:269-279. (In Russ.).
12. Nelyubova V.V., Usikov S.A., Strokova V.V., Netsvet D.D. Composition and properties of self-compacting concrete using a complex of modifiers. *Stroitel'nye materialy* = *Construction materials*. 2021;12:48-54. (In Russ.). <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-798-12-48-54>. EDN: MWNAJK.
13. Kashapov N.F., Yamaleev M.M., Lukashin L.N., Grebenshchikov E.A., Gilev I.Yu., Kashapov R.N., et al. Structure and analysis of amorphous silicon dioxide nanoparticles. *Stroitel'nye materialy i izdeliya* = *Construction materials and products*. 2022;5(6):85-94. (In Russ.). <https://doi.org/10.58224/2618-7183-2022-5-6-85-94>. EDN: JFTZBK.
14. Özkılıç' Y.O., Beskopylny A.N., Stel'makh S.A., Shcherban' E.M., Mailyan L.R., Meskhi B., et al. Lightweight expanded-clay fiber concrete with improved characteristics reinforced with short natural fibers. *Case studies in construction materials*. 2023;19:02367. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02367>.
15. Rassokhin A.S., Ponomarev A.N., Figovsky O.L. Silica fumes of different types for high-performance fine-grained concrete. *Magazine of civil engineering*. 2018;2(78):151-160. <https://doi.org/10.18720/MCE.78.12>. EDN: XPKZUT.
16. Jabbarova N.E., Gasanova U.F. The effect of the addition of silica on the strength of concrete. *Problemy nauki* = *Problems of Science*. 2022;1(69):12-15. (In Russ.).
17. Bily P., Fladr J., Chylik R., Vrablik L., Hrbek V. The effect of cement replacement and homogenization procedure on concrete mechanical properties. *Magazine of civil engineering*. 2019;86(2):46-60. <https://doi.org/10.18720/MCE.86.5>. EDN: ZBEMFY.
18. Ibragimova A.R., Konyukhov V.Yu., Oparina T.A. Microsilicon as a modifier. In: *Zhiznennyi tsikl konstruktivnykh materialov: materialy XII Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* = *Life cycle of structural materials: materials of the XII All-Russian scientific and technical conference*. 06 June 2022, Irkutsk. Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University; 2022. p. 282-285. (In Russ.). EDN: CCKBJE.
19. Khalyushev A., Stelmakh S., Shcherban E., Chernilnik A. Structural formation of the cement pastes based on the concrete modified dispersed mineral components. *Materials science forum*. 2020;1011:14-22. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.1011.14>.

Информация об авторах

Паскачев Асламбек Боклуевич,
д.э.н., профессор, директор,
Институт миграции и межнациональных
отношений,
123308, г. Москва, ул. 3-я Хорошевская, 2, стр. 1,
Россия,
e-mail: apaskachev@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0003-3815-9615>

Information about the authors

Aslambek B. Paskachev,
Dr. Sci. (Econ.),
Professor, Director,
Institute of Migration and Interethnic Relations,
3-ya Khoroshevskaya St., 2 building 1,
Moscow 123308, Russia,
e-mail: apaskachev@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0003-3815-9615>

Ржевская Татьяна Геннадьевна,
д.э.н., профессор,
профессор кафедры строительных
сооружений, конструкций и материалов,
Научно-исследовательский центр
«Строительство»,
141367, г. Сергиев Посад,
пос. Загорские Дали, 6-11, Россия,
e-mail: rzhevskaiatiana@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0005-4291-6134>
Author ID: 1230739

Стельмах Сергей Анатольевич,
к.т.н., доцент,
заведующий кафедрой строительства уникальных
зданий и сооружений,
Донской государственный технический
университет,
344022, г. Ростов-на-Дону,
ул. Социалистическая, 162, Россия,
✉e-mail: sergej.stelmax@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0364-5504>
Author ID: 782068

Щербань Евгений Михайлович,
к.т.н., доцент,
доцент кафедры инженерной геологии,
оснований и фундаментов,
Донской государственный технический
университет,
344022, г. Ростов-на-Дону,
ул. Социалистическая, 162, Россия,
e-mail: au-geen@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5376-247X>
Author ID: 677684

Маилян Лия Дмитриевна,
к.э.н., доцент
и.о. заведующего кафедрой
организации строительства,
Донской государственный технический
университет,
344022, г. Ростов-на-Дону,
ул. Социалистическая, 162, Россия,
e-mail: liya_mailyan@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0007-2600-5554>
Author ID: 1000855

Маилян Александр Леонович,
к.т.н., доцент,
профессор кафедры городского
строительства и хозяйства,
Донской государственный технический
университет,
344022, г. Ростов-на-Дону,
ул. Социалистическая, 162, Россия,
e-mail: mailyan_a@sroufo.ru
<https://orcid.org/0009-0008-2094-2536>
Author ID: 1020822

Tat'yana G. Rzhevskaya,
Dr. Sci. (Econ.), Professor,
Professor of the Department of Civil Engineering,
Structures and Materials,
Research Center "Construction",
6-11, Zagorskie Dali, 141367 Moscow region,
Sergiev Posad,
Russia,
e-mail: rzhevskaiatiana@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0005-4291-6134>
Author ID: 1230739

Sergei A. Stel'makh,
Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Head of the Department of Construction of Unique
Buildings and Structures,
Don State Technical University,
162 Sotsialisticheskaya St., Rostov-on-Don,
344022,
Russia,
✉e-mail: sergej.stelmax@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0364-5504>
Author ID: 782068

Evgenii M. Shcherban,
Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Engineering Geology, Bases
and Foundations,
Don State Technical University,
162 Sotsialisticheskaya St., Rostov-on-Don,
344022, Russia,
e-mail: au-geen@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5376-247X>
Author ID: 677684

Liya D. Mailyan,
Cand. Sci. (Econ.),
Associate Professor,
Acting Head of the Department
of Construction Organization,
Don State Technical University,
162 Sotsialisticheskaya St., Rostov-on-Don,
344022, Russia,
e-mail: liya_mailyan@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0007-2600-5554>
Author ID: 1000855

Aleksandr L. Mailyan,
Cand. Sci. (Eng.),
Associate Professor,
Professor of the Department of Urban
Construction and Economy,
Don State Technical University,
162 Sotsialisticheskaya St., Rostov-on-Don,
344022, Russia,
e-mail: mailyan_a@sroufo.ru
<https://orcid.org/0009-0008-2094-2536>
Author ID: 1020822

Вклад авторов

Паскачев А.Б., Ржевская Т.Г., Стельмах С.А., Щербань Е.М., Маилян Л.Д., Маилян А.Л. имеют равные авторские права. Стельмах С.А. несет ответственность за плагиат.

Contribution of the authors

Aslambek B. Paskachev, Tat'yana G. Rzhetskaya, Sergei A. Stel'makh, Evgenii M. Shcherban', Liya D. Mailyan, Aleksandr L. Mailyan have equal author's rights. Sergei A. Stel'makh bears the responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interests

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

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

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 23.11.2023.
Одобрена после рецензирования 20.12.2023.
Принята к публикации 25.12.2023.

Information about the article

The article was submitted 23.11.2023.
Approved after reviewing 20.12.2023.
Accepted for publication 25.12.2023.



Классификация состояния канализационных сетей по толщине слоя осадка в лотковой части труб

О.А. Продоус¹, Д.И. Шлычков²✉, А.Г. Челоненко²

¹Независимый эксперт по «Водоснабжению и Канализации», г. Санкт-Петербург, Россия

²Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия

Аннотация. Целью данной работы является классификация состояния канализационных сетей из различных материалов и разного диаметра с осадком в лотковой части на основе результатов их телевизионной диагностики и анализу значений гидравлических характеристик. На основе анализа видеоматериалов и анализа характеристик гидравлического потенциала труб устанавливается класс трубопровода с внутренними отложениями, по которому принимается решение о продолжении эксплуатации, необходимости выполнения профилактических мероприятий, в том числе механической или гидродинамической очистки сети, выборе метода ее реконструкции. Стоит отметить, что определение коэффициента гидравлической эффективности канализационных сетей с осадком разной толщины в лотковой части труб позволяет установить диапазон значений (в табличной форме) этого коэффициента, по которому, вне зависимости от диаметра и вида материалов труб, принимается решение о продолжении дальнейшей эксплуатации, проведении профилактических мероприятий (механическая или гидродинамическая очистка), выведении ее из эксплуатации с целью проведения реконструкции. Также представлены рекомендации о возможности дальнейшего продолжения или прекращения эксплуатации трубопроводов водоотведения с внутренними отложениями. Предложено классифицировать эксплуатационное состояние канализационных трубопроводов с осадком в лотковой части для принятия технических решений о необходимости восстановления пропускной способности, проведения реконструкции или замены труб на новые.

Ключевые слова: канализационные сети с осадком в лотковой части, гидравлические характеристики труб, анализ значений, классификация состояния труб, эксплуатация трубопроводов

Для цитирования: Продоус О.А., Шлычков Д.И., Челоненко А.Г. Классификация состояния канализационных сетей по толщине слоя осадка в лотковой части труб // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 1. С. 96–104. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-1-96-104>. EDN: OTQIMA

Original article

Condition classification of sewerage systems according to the deposit layer thickness in the bench part of pipes

Oleg A. Prodous¹, Dmitriy I. Shlychkov²✉, Andrey G. Chelonenko²

¹Independent expert on "Water Supply and Sewerage", St. Petersburg, Russia

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

Abstract. The article aims to classify the condition of sewerage systems made of different materials and having different diameters with a build-up of deposits in the bench part; this analysis is based on their televising and analyzing the values of hydraulic characteristics. The analysis of televising data and the hydraulic potential of pipes establishes the class of a pipeline having internal deposits, which is used to decide on the continuation of operation, the need for preventive measures, including mechanical or hydrodynamic cleaning of the system, or the method of its reconstruction. Noteworthy is that by

© Продоус О.А., Шлычков Д.И., Челоненко А.Г., 2024

determining the hydraulic efficiency factor of sewerage systems with different deposit layer thicknesses in the bench part of pipes, a range of this coefficient can be established (in tabular form), which, regardless of the diameter and type of pipe materials, can be used to make a decision on continuing further operation, carrying out preventive measures (mechanical or hydrodynamic cleaning), or removing it from service for reconstruction. Also, recommendations are provided on the possibility of continuing or discontinuing the operation of wastewater pipelines with internal deposits. It is proposed to classify the operating condition of sewer pipelines with deposits in the bench part to make decisions on the need for restoring the throughput capacity, reconstruction, or replacement of pipes.

Keywords: sewer networks with sediment in the tray part, hydraulic characteristics of pipes, analysis of values, classification of pipe condition, operation of pipelines

For citation: Prodous O.A., Shlychikov D.I., Chelonenko A.G. Condition classification of sewerage systems according to the deposit layer thickness in the bench part of pipes. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'* = *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(1):96-104. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-1-96-104>. EDN: OTQIMA.

ВВЕДЕНИЕ

Вопрос, связанный с проведением гидродинамической очистки и выводом сети из эксплуатации для последующей реконструкции и замены труб, является одним из основных для организаций, эксплуатирующих сети водоснабжения или водоотведения с внутренними отложениями [1–3].

Критерием оценки эксплуатационного состояния сетей с внутренними отложениями является коэффициент гидравлической эффективности трубопроводов $K_{эф}$, определяемый по формуле [4,5,6]:

$$K_{эф} = \frac{d_{вн} \cdot V \cdot i}{(d_{вн}^{\phi})^2 \cdot V_{\phi} \cdot i_{\phi}} \quad (1)$$

где:

$K_{эф}$ – безразмерный коэффициент гидравлической эффективности эксплуатации сети водоотведения с отложениями в лотковой части

труб;

$d_{вн}, V, i$ – расчетные характеристики гидравлического потенциала труб до момента начала их эксплуатации;

$d_{вн}^{\phi}, V_{\phi}, i_{\phi}$ – то же, для труб с осадком в лотковой части.

МЕТОДЫ

Диапазон изменения значений $K_{эф}$, рассчитанных по формуле (1), колеблется в пределах от 1 (новые трубы) до 0 (трубы с осадком в лотковой части).

Для сетей водоснабжения и водоотведения с внутренними отложениями установлены разные зоны изменения значений $K_{эф}$ при их разной толщине слоя осадка [6–9].

Для сетей водоотведения в табл. 1 приведен диапазон изменения значений $K_{эф}$ для труб разного диаметра из различных видов материалов.

Таблица 1. Диапазон изменения $K_{эф}$ для труб сетей водоотведения

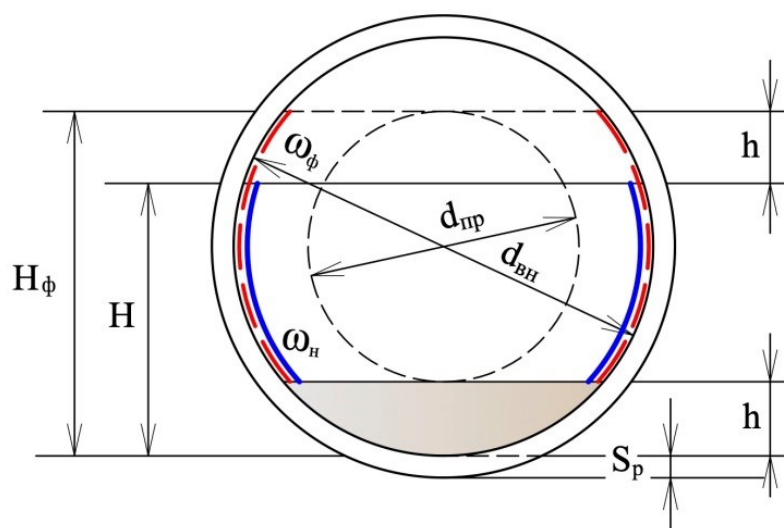
Table 1. The range of variation of K_{ef} for pipes of drainage networks

Значение величины $K_{эф}$	Возможность продолжения дальнейшей эксплуатации сети
$0,6 \leq K_{эф} \leq 1$	Возможно
$0,5 \leq K_{эф} \leq 0,6$	Требуется проведение гидродинамической очистки сети
$K_{эф} \leq 0,5$	Сеть эксплуатировать недопустимо

Анализ информации, приведенный в табл. 1, показывает, что для сетей водоотведения с отложениями существует три зоны значений $K_{эф}$, входящих в систему классификации состояния трубопроводов [10–12]. Это главный параметр информационной системы, по которому судят о толщине накоплений в осадочной части трубы и о ее влиянии на гидравлические характеристики труб для принятия решения о

продолжении дальнейшей эксплуатации сети [13–15].

Так как диапазон значений $K_{эф}$, приведенных в табл. 1, учитывает любые возможные значения накоплений h в осадочной части труб (рисунк), то появляется возможность классифицировать состояния сетей водоотведения с отложениями по толщине накоплений в осадочной части труб.



Характеристики самотечного потока сточной жидкости
Characteristics of the gravity flow of waste liquid

Расшифровка обозначений, представленных на рисунке:

S_p – толщина стенки трубы, м;

h – толщина слоя осадка, м;

$d_{вн}$ – внутренний диаметр по ГОСТ, м;

$d_{пр}$ – приведенный диаметр, м [1];

ω_n – площадь смоченного периметра при нормативной степени наполнения $\frac{H}{d_{вн}}$, м²;

ω_ϕ – площадь смоченного периметра в трубе со слоем осадка h , м².

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Практика эксплуатации канализационных трубопроводов с наличием слоя осадка в лотковой части показывает изменение значений гидравлических характеристик $d_{вн}$, V и i .

Поэтому в разработанной авторами книге «Таблицы для гидравлического расчета самотечных сетей водоотведения с отложениями в лотковой части труб» для труб из девяти видов материалов (бетон, железобетон, асбестоце-

мент, керамика, чугун, полиэтилен, поливинилхлорид, стеклопластик, полипропилен) приводятся допустимые с гидравлической точки зрения величины накоплений h в осадочной части разного диаметра и разного вида материалов труб, подтверждающие существованию зависимости $i_\phi = f(h)$ [16,17,18]. В табл. 2 для примера приводится информация о допустимой толщине слоя накоплений в керамических трубах диаметром 150÷500 мм по ГОСТ 286-82.

Таблица 2. Допустимая толщина слоя накоплений в керамических трубах
Table 2. The permissible thickness of the accumulation layer in ceramic pipes

Диаметр труб		Толщина стенки S_p , мм	Допустимые значения параметров	
внутренний $d_{вн}$, мм	наружный d_n , мм		уровня наполнения труб, $H_{доп}^*$, мм	толщины слоя осадка, $h_{доп}^*$, мм
150	188	19	94,5	4,5
200	240	20	126,0	6,0
250	294	22	157,5	7,5
300	354	27	220,5	10,5
350	408	28	257,3	12,3
400	460	30	294,0	14,0
450	518	34	354,4	16,9
500	572	36	393,8	18,8

В зависимости от толщины слоя осадка h при известном внутреннем диаметре устанавливается класс состояния труб, соответствующий диапазонам значений $K_{эф}$, приведенным в табл. 3:

– до 5 мм (0,005 м) – 1-й класс; $0,6 \leq K_{эф} \leq 1$;
– до 20 мм (0,020 м) – 2-й класс; $0,5 \leq K_{эф} \leq 0,6$;
– более 20 мм – 3-й класс; $K_{эф} \leq 0,5$.

Таблица 3. Класс состояния труб

Table 3. Pipe condition class

Толщина слоя осадка, h , м	Значение $K_{эф}$	Класс состояния труб
от 1 до 0,6	0,005	1
от 0,5 до 0,6	0,020	2
меньше 0,5	$> 0,020$	3

Когда специалисты, эксплуатирующие трубопровод водоотведения, устанавливают, что последний по состоянию соответствует третьему классу, то это значит, что величина накоплений в осадочной части труб больше 20 мм, а значение $K_{эф} \leq 0,5$. Такой трубопровод не подлежит дальнейшей эксплуатации [19–21].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для принятия решения о возможности эксплуатации канализационной сети с осадком в лотковой части необходимо предварительно классифицировать состояние каждого конкретного участка сети в отдельности, для чего необходимо иметь комплексную информацию, которая включает в себя:

- результаты телевизионной диагностики конкретного участка сети [21, 22];
- определение значений гидравлических характеристик труб с осадком в лотковой части. Требуется замерять толщину слоя осадка h на контролируемых участках сети с помощью специальных устройств [22–24];
- результаты полной оценки (дефекты, плюс гидравлика) состояния сети – класс состояния труб [20].

Такая разносторонняя комплексная инфор-

мация об участках канализационной сети является объективным основанием для принятия обоснованного решения о продолжении дальнейшей эксплуатации сети или ее приостановке для проведения реконструкции или замены труб на новые [25–27]. Таким образом, в каждом конкретном случае классификация канализационных сетей по величине накоплений в осадочной части труб позволяет обоснованно принимать определенные технические решения о возможности продолжения эксплуатации сети или ее реконструкции и должна включать вышеперечисленные сведения о конкретном участке сети водоотведения [28–30]. Предлагаемая классификация позволяет более точно прогнозировать значения гидравлических характеристик труб на перспективу, определять сроки выведения конкретных участков сети для проведения замены труб на новые, планировать выделения средств для выполнения мероприятий по реконструкции канализационных сетей и может являться основанием для создания автоматизированной системы контроля гидравлического состояния канализационных трубопроводов в лотковой части, а также напорных коллекторов с внутренними отложениями.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Проодоус О.А., Якубчик П.П., Шлычков Д.И. Прогнозирование характеристик гидравлического потенциала изношенных сетей водоснабжения и водоотведения по коэффициенту эффективности из работы // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2023. № 2 (44). С. 29–33. <https://doi.org/10.52684/2312-3702-2023-44-2-29-33>. EDN: VRQWJD.
2. Проодоус О.А., Шлычков Д.И. Коэффициент эффективности эксплуатации сетей водоснабжения и водоотведения как фактор оценки возможности продолжения дальнейшей их эксплуатации // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 3. С. 162–168. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2023-25-3-162-168>. EDN: QVBNEW.
3. Проодоус О.А., Шлычков Д.И., Якубчик П.П. Причины и последствия изменения гидравлических характеристик металлических сетей водоснабжения и водоотведения в процессе их эксплуатации // Градостроительство и архитектура. 2023. Т. 13. № 3 (52). С. 42–49. <https://doi.org/10.17673/Vestnik.2023.03.06>. EDN: EWWUKY.

4. Продоус О.А., Шлычков Д.И. Методологические подходы к оценке эффективности эксплуатации самотечных сетей водоотведения с отложениями в лотковой части труб // Градостроительство и архитектура. 2022. Т. 12. № 4 (49). С. 34–41. <https://doi.org/10.17673/Vestnik.2022.04.05>. EDN: ZZHJPQ.
5. Челоненко А.Г., Шлычков Д.И. Зависимость гидравлических характеристик самотечных сетей канализации от толщины слоя отложений в лотковой части труб // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2023». Материалы XIV Междунар. науч.-практ. конф. (г. Кисловодск, 18–21 апреля 2023 г.). Новочеркасск, 2023. С. 323–326. EDN: IONFRO.
6. Пат. № 207822, Российская Федерация, G01B 5/06, G01B 5/28, G01B 17/02, G01B 17/08, E21B 47/085, G01N 29/265. Устройство для измерения толщины отложений в трубе / О.А. Продоус, Д.И. Шлычков; заявитель и патентообладатель Продоус О.А., Шлычков Д.И. Заявл. 23.07.2021; опубл. 18.11.2021.
7. Продоус О.А., Шлычков Д.И., Пархоменко С.В., Абросимова И.А. Зависимость фактической степени наполнения от толщины слоя осадка в лотковой части труб // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 1 (44). С. 70–75. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-1-70-75>. EDN: WJHWVL.
8. Продоус О.А., Якубчик П.П., Балашов С.С. Экспертная оценка продолжительности остаточного периода эксплуатации изношенных водопроводных сетей с внутренними отложениями // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2023». Материалы XIV Междунар. науч.-практ. конф. (г. Кисловодск, 18–21 апреля 2023 г.). Новочеркасск, 2023. С. 85–90. EDN: SJCMEM.
9. Продоус О.А., Якубчик П.П., Шлычков Д.И. Особенности гидравлического расчета водопроводов из металлических, полимерных и металлополимерных труб. Терминологический словарь по наружным сетям водоснабжения и канализации. Монография. СПб.: Перо. 2023. 288 с.
10. Продоус О.А., Шипилов А.А., Якубчик П.П. Эффективная структура управления отраслевой наукой в сфере водоснабжения и водоотведения // Водоснабжение и санитарная техника. 2022. № 6. С. 39–42. <https://doi.org/10.35776/VST.2022.06.05>. EDN: QXMGHC.
11. Чупин Р.В. Оптимизация развивающихся систем водоотведения. Монография. Иркутск: Издательство Иркутского государственного технического университета. 2015. 417 с.
12. Продоус О.А., Якубчик П.П., Балашов С.С. О повышении точности гидравлического расчета металлических водопроводов с внутренними отложениями // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2023». Материалы XIV Междунар. науч.-практ. конф. (г. Кисловодск, 18–21 апреля 2023 г.). Новочеркасск, 2023. С. 80–85. EDN: BZRZLJ.
13. Продоус О.А., Шлычков Д.И. Механизм образования слоя отложений в лотковой части труб самотечных сетей водоотведения // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2021. № 6 (750). С. 95–100. <https://doi.org/10.32683/0536-1052-2021-750-6-95-100>. EDN: XSAVCS.
14. Продоус О.А., Шлычков Д.И. Гидравлический расчет сетей водоотведения с внутренними отложениями. Монография. Москва: Библиотека научных разработок и проектов НИУ МГСУ, 2022. 122 с.
15. Чупин В.Р., Мелихов Г.С., Чупин Р.В. Развитие методики гидравлических расчетов систем водоотведения // Вода и экология: проблемы и решения. 2010. № 1-2 (42-43). С. 48–58. EDN: PLSIWZ.
16. Продоус О.А., Шлычков Д.И. Влияние толщины слоя отложений в водопроводных сетях и сетях водоотведения на характеристики их гидравлического потенциала // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2022. Т. 24. № 6. С. 129–138. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2022-24-6-129-138>. EDN: CPFGEN.
17. Чупин Р.В., Нгуен Т.А. Выбор оптимальных схем проектируемых систем водоотведения // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2014. № 6 (11). С. 92–102. EDN: THNUGT.
18. Фоминых А.В., Тельминов А.В., Ковшова Н.А. Зависимость коэффициента потерь на трение по длине трубы в гидравлических системах АПК // Вестник Курганской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 3 (27). С. 79–82. EDN: VTTSQK.
19. Абдуламир Л.С., Орлов В.А., Джумагулова Н.Т. Гидравлический эксперимент на безнапорном трубопроводе из полимерного материала // Вестник Московского государственного строительного университета. 2022. Т. 17. № 4. С. 487–500. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2022.4.487-500>. EDN: HYJUFC.
20. Рыльцева Ю.А., Орлов В.А. Системы визуального обследования и ремонта водопроводных и водоотводящих трубопроводов // Инженерный вестник Дона. 2020. № 4 (64). 23 с. EDN: YWMXVW.
21. Продоус О.А., Шлычков Д.И. Сравнительный анализ расчетных зависимостей для гидравлического расчета самотечных сетей водоотведения // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2021. Т. 11. № 3 (38). С. 462–469. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-1-462-469>. EDN: FJLBZE.
22. Klyuev S.V., Shlychkov D.I., Muravyov K.A., Ksenofontova T.K. Optimal Design of Building Structures // International Journal of Advanced Science and Technology. 2020. Vol. 29. Iss. 5. P. 2577–2583. EDN: HARNXJ.
23. Shlychkov D. Energy-saving as an Integral Part of Technical and Economic Efficiency // Opcion. 2019.

Vol. 35. Iss. 24. P. 1626–1636. EDN: KVVBXI.

24. Orlov V.A., Zotkin S.P. Influence of the Temperature Factor on the Hydraulic Resistance of Pressure Pipes // E3S Web of Conferences. XXIV International Scientific Conference "Construction the Formation of Living Environment". 2021. Vol. 263. 8 p. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126304004>.

25. Prodous O.A., Shlychikov D.I. Reasons and Consequences of Sedimentation Layer Formation in Tray Part of Pipes of Waste Water Gravity Flow Networks // Physical and Mathematical Modeling of Earth and Environment Processes –2022: Proceedings of 8th International Scientific Conference-School for Young Scientists. 2023. P. 421–430. https://doi.org/10.1007/978-3-031-25962-3_41.

26. Prodous O.A., Shlychikov 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. 2021. Vol. 937. Iss. 4. 9 p. <http://doi.org/10.1088/1755-1315/937/4/042021>.

27. Braga A.S., Filion Y. A Novel Monitoring Scheme to Detect Iron Oxide Particle Deposits on the Internal Surface of PVC Drinking Water Pipes // Environmental Science: Water Research & Technology. 2021. Iss. 11 (7). P. 2116–2128. <https://doi.org/10.1039/D1EW00614B>.

28. Soboksa N.E., Gari S.R., Hailu A.B., Alemu B.M. Childhood Malnutrition and the Association with Diarrhea, Water Supply, Sanitation, and Hygiene Practices in Kersa and Omo Nada Districts of Jimma Zone, Ethiopia // Environmental Health Insights. 2021. Vol. 15. 9 p. <https://doi.org/10.1177/1178630221999635>.

29. Schwermer C.U., Uhl W. Calculating Expected Effects of Treatment Effectivity and River Flow Rates on the Contribution of WWTP Effluent to the ARG Load of a Receiving River // Journal of Environmental Management. 2021. Vol. 288. 15 p. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112445>.

30. Mokhov A.I., Komarov N.M., Abrosimova I.A. Information Model of Intelligent Support for Effective Decisions // Building Life-cycle Management. Information Systems and Technologies: Selected Papers. 2022. Vol. 231. P. 191–198. https://doi.org/10.1007/978-3-030-96206-7_20.

REFERENCES

1. Prodous O.A., Yakubchik P.P., Shlychikov D.I. Forecasting the Characteristics of the Hydraulic Potential of Worn-Out Water Supply and Sanitation Networks by the Efficiency Coefficient from Work. *Inzhenerno-stroitel'nyi vestnik Prikaspiya = Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region*. 2023;2(44):29-33. (In Russ.). <https://doi.org/10.52684/2312-3702-2023-44-2-29-33>. EDN: VRQWJD.

2. Prodous O.A., Shlychikov D.I. Efficiency Coefficient of Water Supply and Removal as an Assessment Factor of Further Operation. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta = Journal of Construction and Architecture*. 2023;25(3):162-168. (In Russ.). <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2023-25-3-162-168>. EDN: QVBNEW.

3. Prodous O.A., Shlychikov D.I., Yakubchik P.P. Causes and Consequences of Changes in Hydraulic Characteristics of Metal Water Supply and Sanitation Networks During Their Operation. *Gradostroitel'stvo i arhitektura = Urban Construction and Architecture*. 2023;13;3(52):42-49. (In Russ.). <https://doi.org/10.17673/Vestnik.2023.03.06>. EDN: EWWUKY.

4. Prodous O.A., Shlychikov D.I. Methodological Approaches to Assessing the Efficiency of Operation of Gravity Drainage Networks with Deposits in The Tray Part of Pipes. *Gradostroitel'stvo i arhitektura = Urban Construction and Architecture*. 2022;12;4(49):34-41. (In Russ.). <https://doi.org/10.17673/Vestnik.2022.04.05>. EDN: ZZHJPQ.

5. Chelonenko A.G., Shlychikov D.I. Dependence of Hydraulic Characteristics of Gravity Networks of Sewerage on the Thickness of the Layer of Deposits in the Tray Part of the Pipes. In: *Tekhnologii ochistki vody «TEKhNO-VOD-2023». Materialy XIV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Technologies of Water Purification "TECHNOVOD-2023". Materials of the XIV International Scientific and Practical Conference*. 18-21 April 2023, Kislovodsk. Novocherkassk; 2023, p. 323-326. (In Rus.). EDN: IONFRO.

6. Prodous O.A., Shlychikov D.I. Device for Measuring the Thickness of Deposits in A Printed Pipe. Patent RF, no. 207822; 2021. (In Rus.).

7. Prodous O.A., Shlychikov D.I., Parkhomenko S.V., Abrosimova I.A. Dependence of Actual Filling Level of Gravity Flow Water Distribution on Sediment Thickness in Benching Part of Pipes. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2023;13;1(44):70-75. (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-1-70-75>. EDN: WJHWVL.

8. Prodous O.A., Yakubchik P.P., Balashov S.S. Expert Assessment of the Duration of the Residual Period of Operation of Worn-Out Water Supply Networks with Internal Deposits. In: *Tekhnologii ochistki vody «TEKhNO-VOD-2023». Materialy XIV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Technologies of Water Purification "TECHNOVOD-2023". Materials of the XIV International Scientific and Practical Conference*. 18-21 April 2023, Kislovodsk. Novocherkassk; 2023, p. 85-90. (In Rus.). EDN: SJCMEM.

9. Prodous O.A., Yakubchik P.P., Shlychikov D.I. Features of Hydraulic Calculation of Water Pipes Made

- of Metal, Polymer and Metal Polymer Pipes. Terminological Dictionary On External Water Supply and Sewerage Networks. Monograph. Saint-Petersburg: Pero; 2023. 288 p. (In Russ.).
10. Prodous O.A., Shipilov A.A., Yakubchik P.P. Efficient Management Structure of Sectoral Science in the Field of Water Supply and Wastewater Disposal. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water Supply and Sanitary Technique*. 2022;6:39-42. (In Russ.). <https://doi.org/10.35776/VST.2022.06.05>. EDN: QXMGHC.
11. Chupin R.V. Optimization of Developing Wastewater Disposal Systems. Monograph. Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University; 2015. 417 p. (In Russ.).
12. Prodous O.A., Yakubchik P.P., Balashov S.S. On Improving the Accuracy of Hydraulic Calculation of Hydraulic Water Pipes With Internal Deposits. In: *Tekhnologii ochistki vody «TEKhnOVOD-2023». Materialy XIV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Technologies of Water Purification "TEKhnOVOD-2023". Materials of the XIV International Scientific and Practical Conference*. 18-21 April 2023, Kislovodsk. Novocherkassk; 2023, p. 80-85. (In Russ.). EDN: BZRZLJ.
13. Prodous O. A., Shlychkov D.I. The Mechanism of a Sediment Layer Formation in the Tray Part of Self-Drainage Networks Pipes. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo = News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2021;6(750):95-100. (In Russ.). <https://doi.org/10.32683/0536-1052-2021-750-6-95-100>. EDN: XSAVCS.
14. Prodous O.A., Shlychkov D.I. Hydraulic Calculation of Drainage Networks with Internal Deposits. Monograph. Moscow: Library of scientific developments and projects of National Research Moscow State University of Civil Engineering; 2022. 65 p. (In Russ.).
15. Chupin V.R., Melikhov G.S., Chupin R.V. The Development of Water Disposal System Hydraulic Calculation Technique. *Voda i ekologiya: problemy i resheniya = Water and Ecology: Problems and Solutions*. 2010;1-2(42-43):48-58. (In Russ.). EDN: PLSIWZ.
16. Prodous O.A. Shlychkov D.I. Sediment Thickness in Water Pipes and Hydraulic Potential. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta = Journal of Construction and Architecture*. 2022;24;6:129-138. (In Russ.). <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2022-24-6-129-138>. EDN: CPFGEN.
17. Chupin R.V., Nguen T.A. Choice of Effective Schemes of the Designed Water Discharge Systems. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2014;6(11):92-102. (In Russ.). EDN: THNUGT.
18. Fominykh A.V., Telminov A.V., Kovshova N.A. The Dependence of the Coefficient of Friction Losses Along the Length of the Pipe in Hydraulic Systems of the Agro-Industrial Complex. *Vestnik Kurganskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii = Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy*. 2018;3(27):79-82. (In Russ.). EDN: VTTSQK.
19. Abdulameer L.S., Orlov V.A., Dzhumagulova N.T. Hydraulic Experiment in Non-Pressure Pipeline Made of Polymer Material. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo stroitel'nogo universiteta = Monthly Journal on Construction and Architecture*. 2022;17;4:487-500. (In Russ.). <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2022.4.487-500>. EDN: HYJUFC.
20. Ryltseva Yu.A., Orlov V.A. Systems of Visual Inspection and Repair of Water Supply and Drainage Pipelines. *Inzhenernyi vestnik Dona = Engineering Journal of Don*. 2020;4(64):23. (In Russ.). EDN: YWMXVW.
21. Prodous O.A., Shlychkov D.I. Comparative Analysis of Empirical Dependencies for Hydraulic Calculation of Wastewater Gravity Flow Network. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2021;11;3(38):462-469. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-1-462-469>. EDN: FJLBZE.
22. Klyuev S.V., Shlychkov D.I., Muravyev K.A., Ksenofontova T.K. Optimal Design of Building Structures. *International Journal of Advanced Science and Technology*. 2020;29;5:2577-2583. EDN: HARNXJ.
23. Shlychkov D. Energy-saving as an Integral Part of Technical and Economic Efficiency. *Opcion*. 2019;35;24:1626-1636. EDN: KVVBXI.
24. Orlov V.A., Zotkin S.P. Influence of the Temperature Factor on the Hydraulic Resistance of Pressure Pipes. In: *E3S Web of Conferences. XXIV International Scientific Conference "Construction the Formation of Living Environment"*. 2021. Vol. 263. 8 p. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126304004>.
25. Prodous O.A., Shlychkov D.I. Reasons and Consequences of Sedimentation Layer Formation in Tray Part of Pipes of Waste Water Gravity Flow Networks. In: *Physical and Mathematical Modeling of Earth and Environment Processes – 2022: Proceedings of 8th International Scientific Conference-School for Young Scientists*. 2023. p. 421-430. https://doi.org/10.1007/978-3-031-25962-3_41.
26. 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. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 937. Iss. 4. 9 p. <http://doi.org/10.1088/1755-1315/937/4/042021>.
27. Braga A.S., Filion Y. A New Monitoring Scheme for Detecting Deposits of Iron Oxide Particles on the Inner Surface of PVC Drinking Water Pipes. *Environmental Science: Water Research & Technology*. 2021;7(11):2116-2128. <https://doi.org/10.1039/D1EW00614B>.

28. Soboksa N.E., Gari S.R., Hailu A.B., Alemu B.M. Childhood Malnutrition and the Association With Diarrhea, Water Supply, Sanitation, and Hygiene Practices in Kersa and Omo Nada Districts of Jimma Zone, Ethiopia. *Environmental Health Insights*. 2021;15:9. <https://doi.org/10.1177/1178630221999635>.
29. Schwermer C.U., Uhl W. Calculating Expected Effects of Treatment Effectivity and River Flow Rates on the Contribution of WWTP Effluent to the ARG Load of a Receiving River. *Journal of Environmental Management*. 2021;288:15. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112445>.
30. Mokhov A.I., Komarov N.M., Abrosimova I.A. Information Model of Intelligent Support for Effective Decisions. *Building Life-cycle Management. Information Systems and Technologies: Selected Papers*. 2022;231:191-198. https://doi.org/10.1007/978-3-030-96206-7_20.

Информация об авторах

Продоус Олег Александрович,

д.т.н., профессор,
независимый эксперт по «Водоснабжению
и Канализации»,
190005, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 37/1,
лит. А, Россия,
e-mail: pro@enco.su
<https://orcid.org/0000-0003-0389-3695>
Autor ID: 837891

Шлычков Дмитрий Иванович,

к.т.н., 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>
Autor ID: 536457

Челоненко Андрей Геннадьевич,

студент,
Национальный исследовательский
Московский государственный строительный
университет,
129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26,
Россия,
e-mail: ChelonenkoAG@mgsu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3349-8442>
Autor ID: 1217623

Information about the authors

Oleg A. Prodous,

Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Independent Expert on "Water Supply
and Sanitation",
37/1, letter A, Moskovskii Ave.,
Saint Petersburg 190005, Russia,
e-mail: pro@enco.su
<https://orcid.org/0000-0003-0389-3695>
Autor ID: 837891

Dmitriy I. Shlychkov,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor
of the Department of Water Supply
and Water Disposal,
Moscow State University of Civil Engineering
(National Research University),
26 Yaroslavskoye Shosse, Moscow 129337,
Russia,
✉e-mail: ShlyichkovDI@mgsu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0210-2695>
Autor ID: 536457

Andrey G. Chelonenko,

Student,
Moscow State University
of Civil Engineering
(National Research University),
26 Yaroslavskoye Shosse, Moscow 129337,
Russia,
e-mail: ChelonenkoAG@mgsu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3349-8442>
Autor ID: 1217623

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

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

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 04.12.2023.
Одобрена после рецензирования 28.12.2023.
Принята к публикации 12.01.2024.

Information about the article

The article was submitted 04.12.2023.
Approved after reviewing 28.12.2023.
Accepted for publication 12.01.2024.



Мониторинг влияния антропогенных факторов функционирования городского хозяйства на возникновение наводнений и подтоплений

Э.С. Цховребов^{1✉}, У.Д. Ниязгулов², Е.Б. Сергеев³, Ю.В. Прус⁴

^{1,3,4}Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России (Федеральный центр науки и высоких технологий), г. Москва, Россия

²Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва, Россия

Аннотация. В статье рассмотрены актуальные вопросы предупреждения экологической опасности в процессе деятельности системы городского хозяйства как фактора возникновения и развития чрезвычайных ситуаций природного характера – паводков и наводнений. Цель работы – формирование конфигурации системы комплексного мониторинга, позволяющей при ее внедрении принимать обоснованные организационно-технические и управленческие решения по предупреждению чрезвычайных ситуаций с опасными экологическими последствиями. Задачей исследования стала отработка предложений по созданию такой системы на примере конкретной чрезвычайной ситуации природного характера: наводнений, подтоплений и паводков, вызванных антропогенными причинами, связанными с функционированием населенных пунктов. Объект исследования – паводки и наводнения в качестве чрезвычайных ситуаций природного характера. Предметом исследования определен комплекс факторов, условий, параметров, ограничений, оказывающих влияние на возникновение и развитие наводнений, подтоплений и паводков. Методика исследования базируется на применении системного анализа факторов, параметров функционирования, условий, ограничений, причинно-следственных связей техногенных событий и природных явлений, приводящих к возникновению и прохождению паводков и наводнений как природной чрезвычайной ситуации с экологически опасными последствиями. На примере исследования техногенных причин зарождения паводков и наводнений в настоящей работе даны предложения по организации системы комплексного мониторинга урбанизированных территорий в целях своевременного предотвращения, выявления и смягчения неблагоприятных событий, опасных факторов, угроз, рисков и потенциально возможных последствий для инфраструктуры городского хозяйства и жизнедеятельности населения.

Ключевые слова: экологическая безопасность, чрезвычайные ситуации, прогнозирование, городское хозяйство, антропогенные факторы, подтопления, паводки, мониторинг

Для цитирования: Цховребов Э.С., Ниязгулов У.Д., Сергеев Е.Б., Прус Ю.В. Мониторинг влияния антропогенных факторов функционирования городского хозяйства на возникновение наводнений и подтоплений // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 1. С. 105–118. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-1-105-118>. EDN: PAFBKG.

Original article

Monitoring of effects, caused by the anthropogenic factors of the municipal economy functioning, on the occurrence of floods and groundwater flooding

Eduard S. Tshovrebov^{1✉}, Ural D. Niyazgulov²,
Evgeniy B. Sergeev¹, Yuriy V. Prus¹

^{1,3,4}All-Russian Scientific Research Institute for Civil Defence and Emergencies of the EMERCOM of Russia (Federal Science and High Technology Center), Moscow, Russia

²Russian University of Transport, Moscow, Russia

© Цховребов Э.С., Ниязгулов У.Д., Сергеев Е.Б., Прус Ю.В., 2024

Abstract. The article considers topical issues of preventing environmental hazards during the functioning of urban economy system as a factor for the occurrence and development of natural emergencies – freshets and groundwater flooding. The study aims to form a configuration of a comprehensive monitoring system for making reasonable organisational, technical and managerial decisions on the prevention of emergencies with dangerous environmental consequences. The objective of the study was to investigate proposals for the creation of such a system using an example of specific natural emergencies: floods, groundwater flooding and freshets, caused by anthropogenic activities, associated with the functioning of human settlements. The object of the study includes freshets and floods in terms of natural emergencies. The subject of the study involves a set of factors, conditions, parameters and restrictions, affecting the occurrence and development of floods, groundwater flooding and freshets. The research methodology is based on the application of a system analysis to factors, functioning parameters, conditions, restrictions, cause-and-effect relationships of technogenic events and natural phenomena, leading to the occurrence and passage of groundwater flooding and floods as a natural emergency with environmentally hazardous consequences. Using the study of anthropogenic causes of floods and groundwater flooding, this paper presents proposals for the organisation of a system for integrated monitoring of urban areas in order to timely prevent, identify and mitigate adverse events, hazards, threats, risks and potential consequences for the infrastructure of urban economy and population vital activity.

Keywords: environmental safety, emergencies, forecasting, urban management, anthropogenic factors, flooding, floods, monitoring

For citation: Tshovrebov E.S., Niyazgulov U.D., Sergeev E.B., Prus Yu.V. Monitoring of effects, caused by the anthropogenic factors of the municipal economy functioning, on the occurrence of floods and groundwater flooding. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(1):105-118. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-1-105-118>. EDN: PAFBKG.

ВВЕДЕНИЕ

Достижение состояния защищенности людей и природной среды от экологических угроз, ЧС техногенного и природного плана является в настоящее время одной из актуальных проблем современности и безопасности будущих поколений [1–5].

Особое внимание уделяется охране и рациональному использованию водных ресурсов, обеспечивающих одни из важнейших потребностей жизнедеятельности населения [6, 7].

В работе проведен системный анализ влияния техногенных (антропогенных) факторов на возникновение, прохождение паводков, подтоплений, затоплений и наводнений, квалифицируемых в качестве источников природной ЧС с возможным переходом в техногенную ситуацию с опасными экологическими, социально-экономическими последствиями для жизнедеятельности населения, систем жизнеобеспечения территорий, функционирования комплекса городского хозяйства, объектов экономики.

В рамках проводимого исследования определен комплекс факторов, условий, параметров, оказывающих влияние на возникновение и развитие затоплений, паводков и подтоплений городских и иных территорий.

Системный анализ информации о природных ЧС вышеуказанного характера, их антропогенных причинах, опасных последствиях для природной среды, жизнедеятельности населения, устойчивого развития объектов экономики предопределили необходимость проведения исследований в части поиска путей решения проблемы мониторинга и прогнозирования ЧС научными методами и способами. Обращено внимание на тот факт, что мониторинг является неотъемлемой информационно-аналитической базой для подготовки обоснованных и достоверных прогнозов неблагоприятных и чрезвычайных ситуаций разного уровня упреждения. Это предопределяет важнейшую функцию мониторинга: его комплексность в отношении объектов – источников негативных процессов и явлений. Означенным актуальным вопросам и посвящена представленная работа.

МЕТОДЫ

Материалами для проведения настоящего исследования послужили опубликованные труды, результаты исследований российских и зарубежных ученых, специалистов-экспертов в области геоэкологии [8], гидрологии [9–13], безопасной эксплуатации искусственных сооружений и городской системы

водопроводно-канализационного хозяйства [14–16], создания экологически безопасных систем и технологий, оценки показателей экологической безопасности [17–19], анализа риска аварий, мониторинга, предупреждения ЧС, их негативных проявлений [20–24], материалы исследований зарубежных авторов.

Методика исследования основывается на системном анализе факторов, параметров функционирования, условий, ограничений, закономерностей, причинно-следственных связей, взаимозависимости техногенных (антропогенных) и природных явлений, событий,

приводящих к негативным последствиям для устойчивого социально-экономического развития территорий, благоприятности и безопасности жизнедеятельности населения в результате возникновения и прохождения паводков и наводнений.

В рамках проведения системного анализа определен комплекс методов и инструментов проводимого исследования (табл. 1).

Порядок и алгоритм применения инструментариев исследования на различных этапах проводимого исследования иллюстрирован на впервые разработанной схеме (рис. 1).

Таблица 1. Комплекс методов и инструментов проводимого исследования

Table 1. A set of methods and tools of the conducted research

Метод исследования	Сущность применяемого метода исследования
Абстрагирование	Выделение, вычленение отдельных или общих интересующих в данный момент существенных закономерных признаков, свойств и отношений предмета в результате мысленного (логического) отвлечения от множества несущественных сторон, признаков, свойств, взаимоотношений, связей исследуемого объекта (предмета)
Формализация	Превращение различных свойств предметов исследования в объект рассмотрения, позволяющее отразить основные закономерности исследуемых объектов или явлений, изучать их, прогнозировать новые закономерности
Аналогия	Сравнение объектов, процессов, технических решений, близких (сходных, подобных) по совокупности существенных признаков, свойств, характеристик, отношений, назначению
Идентификация	Установление соответствия объектов по ряду прямых и косвенных признаков
Ранжирование	Обработка данных, полученных в результате опроса специалистов или из опубликованных исследований путем выявления и присвоения рангов факторам, имеющим согласно априорной информации предполагаемое существенное влияние на параметры оптимизации предмета, объекта
Обобщение	Логический процесс перехода от единичного к общему, от менее общего знания к более общему, включая результат данного процесса в виде обобщенного суждения, понятия, теории
Классификация	Систематическое деление и упорядочение понятий и предметов, фиксация закономерных связей между объектами
Компроментация	Выдвижение любого числа возражений против актуальности, значимости проблемы, путей решения
Синтез	Соединение/объединение ранее разрозненных объектов исследования или понятий в единое целое

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам системного анализа информации с применением вышеприведенных исследовательских инструментов и методов классифицированы техногенные (антропогенные, т.е. вызванные деятельностью человека)

факторы паводков и наводнений, причины, условия их формирования как следствие хозяйственной деятельности человека с нарушением градостроительного, природоохранного, санитарного, технического и иных видов российского законодательства (табл. 2).



Рис. 1. Порядок и алгоритм применения инструментария исследования на различных этапах проводимого исследования
Fig. 1. The procedure and algorithm for applying the research tools at various stages of the study

С развитием производительных сил, увеличением численности населения, усиливается негативное влияние жизнедеятельности людей на природу, и, как следствие, возрастает роль антропогенных факторов, оказывающих воздействие на чистоту и равновесное состояние водных объектов.

Исследование, анализ и учет данных факторов имеют огромное значение при решении вопросов мониторинга и прогнозирования как самих чрезвычайных ситуаций, так и их опасных экологических, социально-экономических и иных последствий.

Таким образом, предмет исследования водных ресурсов и объектов приобретает черты междисциплинарного характера, а результат определяет, в конечном счете, безопас-

ность жизнедеятельности населения, природной среды и природных ресурсов, объектов жизнеобеспечения территорий.

Прямые причины возникновения антропогенных факторов наводнений и подтоплений связаны с авариями на ГТС, а также разрушением плотин. Косвенные причины, связанные с жизнедеятельностью человека, определяют все остальные факторы, истематизированные в табл. 2.

Нарушение естественного поверхностного стока объектами недвижимости, равно как и нарушение гидрологического режима, водного баланса, устойчивости работы ГТС и искусственных сооружений, также является причиной возникновения неблагоприятных событий и чрезвычайных ситуаций.

Таблица 2. Классификация антропогенных факторов наводнений и паводков

Table 2. Classification of anthropogenic factors of floods and floods

Антропогенные факторы паводков и наводнений	Условия и причины формирования	Гидрологический результат
Строительство, эксплуатация водохранилищ и гидротехнических сооружений (ГТС)	1. Нерациональное управление режимом работы водохранилищ до и в период прохождения максимального стока (экстренная сработка водохранилища, необоснованно полное раскрытие водосбросов) 2. Образование заторов и зажоров в период формирования или разрушения ледяного покрова 3. Уменьшение пропускной способности русла и поймы реки в результате образования русловых отложений в зоне выклинивания подпора от плотин на реках с повышенным стоком 4. Стеснение живого сечения русла из-за недостаточной водопропускной способности искусственных сооружений (мостов, труб, пр.); в связи с проведением русловыправительных работ; строительством вдоль русловых дамб 5. Образование временных водоемов (возможным их прорывом) при затрудненном оттоке поверхностного стока из-за отсутствия или недостаточной пропускной способности искусственных сооружений при строительстве насыпей дорог и других объектов; затрудненным поверхностным стоком из-за отсечения поймы дамбами обвалования 6. Разрушение плотин и дамб в результате отказа водосбросных устройств или недостаточной их пропускной способности 7. Хозяйственное освоение территорий пойм в нижних бьефах водохранилищ многолетнего регулирования стока, увеличивающее максимальный сток 8. Нарушение естественного режима расхода и уровней вод в результате сезонного регулирования стока водохранилищ	Поступление значительных объемов воды в водный объект. Повышение уровня вод в водоеме
Вырубка лесов	1. Уничтожение растительности – источника потребления поверхностного стока 2. Повышение интенсивности смыва почв в водный объект 3. Условия для возникновения речной эрозии, абразии 4. Сокращение суммарного испарения из-за прекращения перехвата осадков лесной подстилкой и кронами деревьев	Увеличение стока на 300 %
Сплав древесины	Загромождение русла древесиной (заломы) с вытеснением объемов вод из русла	–//–
Осушение болот	1. Ликвидация естественных аккумуляторов поверхностных сточных вод 2. Смыв торфяных масс в водный объект	Увеличение стока на 130–160 %

Окончание табл. 2

Антропогенные факторы паводков и наводнений	Условия и причины формирования	Гидрологический результат
Стеснение живого сечения потока вод в результате сужения русла проточного водоема	Размещение объектов (вдоль русловых дорог, мостовых переходов, набережных, стоянок судов, складов минеральных строительных материалов в акваториях, иных антропогенных источников, искусственное сужение русла, возведение искусственных островов) без учета гидрологических условий проточного водоема, без проведения оценки воздействия на окружающую среду (водные ресурсы и водоисточники)	Уменьшение пропускной способности русла и повышение уровня вод
Градостроительство (жизнеобеспечение, жилищно-социальная сфера, промышленность, энергетическая, дорожно-транспортная инфраструктура, канализование, пр.) в пределах зон санитарной охраны, водоохраных зон водного объекта	1. Нарушение естественного поверхностного, подземного стоков водного объекта и впадающих проточных водоемов 2. Уменьшение инфильтрации сточных вод за счет увеличения площадей водонепроницаемых покрытий. Увеличение коэффициента стока и поверхности формирования стока с твердых покрытий, приводящее к росту объемов поступления поверхностных (ливневых, талых) вод в водный объект 3. Изменение гидрологического режима водоемов 4. Уменьшение инфильтрующих свойств почв 5. Повышение интенсивности смыва почв в водный объект 6. Поступление в водный объект отходов, иных продуктов жизнедеятельности 7. Усложненный поверхностный сток из-за недостаточной пропускной способности, засорения системы отвода стока 8. Залповые сбросы в результате аварийных прорывов коммуникаций (канализование, водопровод), а также авариях на очистных сооружениях	Подъем уровня загрязненных вод за счет роста объемов поверхностного стока до 1000 % и выше
Утечки из водонесущих коммуникаций	1. По различным оценкам более 50-60 % водонесущих коммуникаций в границах населенных пунктов и вне их расположения морально и физически устарело, требуют замены или капремонта	Рост объема стока и подъем уровня вод

Особую роль играют наличие и пропускная способность ливневой канализации городских территорий. Лишь менее 50 % населенных пунктов России и промышленных зон частично оборудованы такой канализацией с отводом и последующей очисткой загрязненного поверхностного стока. Ливневые пропускные решетки и каналы зачастую забиваются древесно-растительными, коммунальными, пищевыми остатками и частицами (особенно в зоне размещения торговых комплексов, рынков, кафе, мест стоянки и ожидания транспортных средств). В таких случаях система городского ливневого стока перестает работать в нормальном режиме, дренажная сеть

(если таковая предусмотрена) функционирует с перегрузкой, что приводит в результате к повышению уровня вод и далее – к подтоплениям и затоплениям.

Устройство продуманной в техническом и гидрологическом аспектах дождевой (ливневой) канализации в населенных пунктах приводит к нормализации отвода нарушенного застройкой поверхностного стока. Оптимальным проектным решением служит комплексный процесс размещения сетей канализования в сочетании с градостроительной планировкой. В части предупреждения подтоплений и затоплений ливневая канализация выполняет две важных функции: во-первых, регулирует

емый организованный прием и сброс поверхностных сточных вод; во-вторых, забор воды с дренажей, понижающих уровень подпора вод, способствующий оптимизации процессов сбора и отвода такого рода стоков с урбанизированной территории.

Утечки из водонесущих продуктопроводов также являются существенным источником образования процессов подтопления зон расположения населенных пунктов. Коммуникации водопроводно-канализационного хозяйства со временем приходят в негодность, разрушаются, и, как следствие, начинаются скрытые трудно обнаруживаемые подземные утечки. С большой долей частоты выявляются ситуации, при которых источник прорыва сети находят лишь после выхода воды на поверхность через значительное время после момента начала скрытой утечки вод. В ряде случаев новые водопроводно-канализационные сети лишаются герметичности, особенно на стыковых поверхностях и переходах. На это влияет множество технических и иных причин, в том числе качество изделия и соблюдение технических требований при установке.

Имеются попытки статистически прогнозировать подтопление, однако при этом до сих пор различные по степени упреждения прогнозы подтопления проводят аналоговым методом с помощью математического и компьютерного моделирование процессов. В ходе изысканий анализируется параметр добавочной инфильтрации влаги, которая способствует поднятию уровня грунтовых вод. На основе этого индикатора разрабатывается прогноз подтопления. Означенные индикаторы с определенной степенью достоверности могут быть обоснованно установлены только на основе осуществления комплексного мониторинга (инженерного, фоновое экологического, геотехнического), организации сети постоянных наблюдений за уровнем грунтовых вод на урбанизированной территории.

Таким образом, процесс урбанизации и сопряженный с ним человеческий фактор в части несоблюдения, нарушения экологических, градостроительных, технических, санитарных норм, требований, правил, нормативов становится основным техносферным (антропогенным) фактором возникновения и развития паводков, подтоплений и наводнений в качестве ЧС с опасными экологическими, социально-экономическими и иными последствиями.

По результатам системного анализа поднятой научной проблемы следует подчеркнуть, что подтопления и наводнения, как пра-

вило, вызываются несколькими основаниями, имеющими взаимосвязанный характер.

Одним из основных путей решения проблемы предупреждения паводков, наводнений, подтоплений, затоплений и их неблагоприятных последствий является создание и поэтапное перспективное развитие государственной системы комплексного мониторинга всей окружающей человека среды.

В настоящее время действующая система фоновое экологического мониторинга может быть охарактеризована как комплекс повторяющихся измерений показателей в живых и неживых компонентах природы, реализуемых постами наблюдений, специализированных на конкретных природных средах и природных компонентах. Функционирующая отдельно система инженерно-технического мониторинга реализует наблюдения за инженерно-техническими элементами объектов, изменениями в них.

Функционирующий в теории комплексный мониторинг является частью федерального и регионального мониторинга и по смыслу должен охватывать в комплексе санитарно-гигиенический, фоновый экологический, геотехнический, инженерный мониторинг.

При оценке необходимости предупреждения и смягчения отрицательных последствий негативных или опасных явлений в природе основным становится вопрос: существует ли опасный предел таких изменений, который может привести к возникновению неблагоприятных для человека ситуаций, их перерастания в ЧС, в том числе разрушению сложившейся климатической системы или весьма серьезным последствиям для человека и биосферы.

При организации фоновое экологического мониторинга для принятия последующих организационно-технических и управленческих решений по предупреждению подтоплений и наводнений целесообразно осуществлять постоянные гидрометеорологические наблюдения и определения загрязняющих веществ в водной среде.

В процессе мониторинга вод до и после прохождения наводнений и паводков, углубленные исследования проводятся в части оценки и анализа состояния водных объектов, в том числе: уровня грунтовых вод, состояния ледяного покрова, распространения видов и классов водной растительности, идентификации и оценки количеств загрязнителей вод, показателей гидрометеорологического и гидрологического режима.

С общепринятых позиций инженерно-строительный мониторинг проводится в целях

непрерывного отслеживания территорий предполагаемого строительства промышленных и энергетических предприятий путем систематических наблюдений за состоянием городской инфраструктуры (каналы, здания, сооружения, строения, техника, инженерные системы, водоочистка), в части анализа паводковой ситуации и подтоплений исследованию подлежат площадь твердых покрытий, организация ливнестока, функционирование водопроводно-канализационных сетей, регулирование стока и подземных рек и ручьев. В целях консолидации в единое целое государственной системы наблюдений, инструментального (лабораторного) контроля и мониторинга следует унифицировать всю систему мониторинга и инструментальных наблюдений за состоянием указанных составляющих окружающей среды. С рассматриваемых позиций задачей мониторинга является определение степени влияния антропогенных (техногенных) источников возможной ЧС на данный объект и зависимую территорию, определяя возможность наступления неблагоприятных и чрезвычайных ситуаций и их последствий. Такой мониторинг организуется и начинается наиболее заблаговременно, не позднее стадии начала разработки предпроектной документации технического проекта планируемого объекта, и продолжится в период строительства и ввода объекта в эксплуатацию. К сожалению, на настоящий момент острейшая проблема состоит в том, что все виды мониторинга разрозненно действуют и рассредоточены в различных органах исполнительной власти, ни о какой координации и комплексности единой сети непрерывных наблюдений говорить не

приходится. С позиций обеспечения создания и устойчивого развития единой системы государственных наблюдений за состоянием окружающей среды предлагается:

1. Создание государственного центра комплексного мониторинга (фоновое экологическое, инженерное, санитарно-гигиеническое и геотехническое), упорядочение деятельности в этом направлении соответствующих региональных и ведомственных служб, в том числе для проведения единой регулятивно-правовой и технической политики в рассматриваемой сфере.

2. Законодательное обеспечение функционирования единой федеральной системы мониторинга.

3. Разработка документов по стандартизации, определяющих терминологию, порядок проведения, участников комплексного мониторинга.

По результатам проведенного исследования даны предложения по организации системы мониторинга природных и техногенных ЧС с участием федеральных органов исполнительной власти (ФОИВ).

Выделенные и систематизированные взаимосвязанные функции, предопределяющие участие ФОИВ в единой системе комплексного мониторинга в рамках системы РСЧС, в структурированном виде представлены в табл. 3.

Проведенный анализ функций и полномочий федеральных органов исполнительной власти, участников РСЧС образует по сути информационно-аналитическую базу формирования конфигурации комплексной системы мониторинга природных и техногенных ЧС.

Таблица 3. Предложения по организации системы мониторинга ЧС с участием федеральных органов исполнительной власти в соответствии с возложенными на них функциями и полномочиями

Table 3. Proposals for the organization of an emergency monitoring system with the participation of federal executive authorities in accordance with the functions and powers assigned to them

ФОИВ	Функции и полномочия в области отдельных видов мониторинга, прогнозирования, ведения информационных баз данных, установленные Положениями о ФОИВ	Участие в системе мониторинга и прогнозирования ЧС (согласно критериям отнесения событий к ЧС)
Росприроднадзор	качества атмосферного воздуха; состояния и загрязнения окружающей среды	1.3. Аварии на системах жизнеобеспечения 1.4. Аварии с выбросом, сбросом опасных химических веществ

Продолжение табл. 3

ФОИВ	Функции и полномочия в области отдельных видов мониторинга, прогнозирования, ведения информационных баз данных, установленные Положениями о ФОИВ	Участие в системе мониторинга и прогнозирования ЧС (согласно критериям отнесения событий к ЧС)
Ростехнадзор	состояния защищенности химически опасных производственных объектов; состояния антитеррористической защищенности гидротехнических сооружений; состояния антитеррористической защищенности критически важных опасных производственных объектов; состояния защищенности опасных производственных объектов химического профиля	1.2. Взрывы (в том числе с последующим горением) и (или) разрушения (обрушения) в зданиях и сооружениях 1.4. 1.5. Аварии с разливом (выбросом) нефти (нефтепродуктов) 1.7. Гидродинамические аварии
Роснедра	подземных вод; опасных экзогенных и эндогенных геологических процессов; месторождений углеводородов, твердых полезных ископаемых; участков недр, используемых для целей, не связанных с добычей полезных ископаемых; участков недр, испытывающих воздействие хозяйственной деятельности, не связанной с недропользованием; геологической среды континентального шельфа; прогноз изменения геологической среды	1.2.6. Аварии на объектах ведения горных работ; 1.5. 2.1 Опасные геофизические явления 2.2. Опасные геологические явления 2.5. Опасные гидрологические явления
Росгидромет	состояния и загрязнения окружающей среды в районах расположения опасных производственных объектов биологического и химического профиля; участвует в создании и функционировании систем аварийного реагирования на опасных производственных объектах биологического и химического профиля в части подготовки и предоставления оперативной и прогностической информации о масштабах и уровнях загрязнения окружающей среды и возможных его последствиях; обеспечивает органы власти, население информацией о фактическом и прогнозируемом состоянии окружающей среды и ее загрязнении	1.3; 1.4; 2.5 2.3. Опасные метеорологические явления 2.4. Морские опасные гидрометеорологические явления
Рослесхоз	лесопатологический – лесов, включая выявление факторов, негативно воздействующих на состояние и воспроизводство лесов	2.6. Опасные явления в лесах
Россельхознадзор	карантинного фитосанитарного состояния территории РФ	2.9. Биологическая опасность

Окончание табл. 3

ФОИВ	Функции и полномочия в области отдельных видов мониторинга, прогнозирования, ведения информационных баз данных, установленные Положениями о ФОИВ	Участие в системе мониторинга и прогнозирования ЧС (согласно критериям отнесения событий к ЧС)
Роспотребнадзор	опасных для человека природных биологических агентов и химических веществ, а также вызываемых ими заболеваний с целью прогнозирования биологических и химических опасностей; санитарно-эпидемиологический; причинно-следственных связей между состоянием здоровья людей и средой их обитания	1.3; 1.4; 2.9
Минсельхоз	земель сельскохозяйственного назначения	2.3
Минэнерго	мониторинг в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности	1.3; 2.3
Ространснадзор	контроль и надзор за соблюдением законодательства о гражданской авиации; торговом мореплавании; внутреннем водном транспорте; безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта; транспортной безопасности; перевозке опасных грузов автомобильным транспортом	1.1. Транспортные аварии
Росводресурсы	разработку автоматизированных систем сбора, обработки, анализа, хранения и выдачи информации о состоянии водных объектов, водных ресурсах, режиме, качестве и использовании вод; ведение государственного водного реестра	1.7; 2.5.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработка систем комплексного мониторинга на основе системного анализа и учета антропогенных факторов возникновения подтоплений, затоплений территорий населенных пунктов является важнейшим инструментом обеспечения экологической безопасности, представляется новым научным направлением исследований в области решения проблем устойчивого развития населенных пунктов и территорий, является значимой научно-технической задачей на современном

этапе социально-экономического развития России. Таким образом, по мнению авторов внедрение предлагаемой системы комплексного мониторинга, в части трансформации функциональной подсистемы мониторинга, лабораторного контроля и прогнозирования ЧС повлечет за собой предотвращение или смягчение опасных экологических, социально-экономических и иных последствий для жизнедеятельности населения, состояния окружающей среды и устойчивого развития объектов экономики.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Суздалева А.Л. Экологическая глобалистика и устойчивое развитие на этапе техногенной трансформации биосферы // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2020. № 1. С. 6–11. <https://doi.org/10.31857/S0869780920010196>. EDN: HKJMPL.

2. Ниязгулов У.Д., Цховребов Э.С. Формирование комплексной системы обращения и геоинформационных систем мониторинга отходов // Качество. Инновации. Образование. 2017. № 12 (151). С. 56–61. EDN: YOOMVO.
3. Velichko E., Tshovrebov E., Niyazgulov U. Organizational, technical and economic fundamentals of waste management and monitoring // Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering, TPACEE 2019. E3S Web of Conferences (Moscow, 20–22 November 2019). France: EDP Sciences, 2020. P. 08031. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016408031>. EDN: ICANYZ.
4. Цховребов Э.С., Костарев С.Н. Прогнозирование экологических угроз, возникающих при эксплуатации объектов строительства и городского хозяйства // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2023. № 1 (769). С. 95–108. <https://doi.org/10.32683/0536-1052-2023-769-1-95-108>. EDN: MZHGNY.
5. Цховребов Э.С., Гордиенко А.Н. Метод оценки экологических угроз и рисков при функционировании техносферных объектов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 1 (65). С. 114–126. EDN: BFHLEX.
6. Ниязгулов У.Д., Цховребов Э.С., Юрьев К.В. Методы мониторинга водных экологических систем и биоресурсов // Вестник Тувинского государственного университета. № 2 Естественные и сельскохозяйственные науки. 2014. № 2. С. 114–119. EDN: SFAERZ.
7. Цховребов Э.С. Проблемы охраны поверхностных водных объектов при строительстве // ЭКОСинформ. 2008. № 12. С. 50–54. EDN: XPEQEP.
8. Осипов В.И. Природные катастрофы на рубеже 21 века // Вестник Российской академии наук. 2001. Т. 71. № 4. С. 291–302.
9. Добровольский С.Г., Истомина М.Н. Наводнения мира. М.: Геос, 2006. 256 с. EDN: YNNHUX.
10. Нежиховский Р.А. Наводнения на реках и озерах. Л.: Гидрометеиздат. 1988. 183 с.
11. Раткович Д.Я., Раткович Л.Д. Типы наводнений и пути сокращения наносимых ими ущербов // Водные ресурсы. 2000. Т. 27. № 3. С. 261–266.
12. Авакян А.Б. Наводнения в прошлом, настоящем и будущем: концепция защиты // Использование и охрана водных ресурсов в России. 2001. № 10. С. 43–49. EDN: USROTO.
13. Калинина М.Н., Орлов Е.В. Затопление городской территории // Системные технологии. 2018. № 4 (29). С. 120–123. EDN: YRSCKT.
14. Пупырев Е.И. Системы жизнеобеспечения городов. Москва: Наука, 2006. 274 с.
15. Дерюгин Г.К., Наумов О.С. Разрушение плотин в связи с пропуском сбросных расходов // Гидротехническое строительство. 1995. № 7. С. 30–33.
16. Малик Л.К. Факторы риска повреждения гидротехнических сооружений: проблемы безопасности: монография. М.: Наука, 2005. 354 с. EDN: QMISRX.
17. Ильичев В.А., Емельянов С.Г., Колчунов В.И., Каримов А.М., Гордон В.А., Бакаева Н.В. Концепция биосферной совместимости как основа доктрины градостроительства и расселения // Стратегические приоритеты. 2014. № 1 (1). С. 71–84. EDN: TWOJYB.
18. Графкина М.В., Потапов А.Д. Оценка экологической безопасности строительных систем как природно-техногенных комплексов (теоретические основы) // Вестник МГСУ. 2008. № 1. С. 23–28. EDN: MVHAJP.
19. Slesarev M., Makarova A. Environmental safety of construction as a factor of graphoanalytical modeling of product parameters // Revista Inclusiones. 2020. Vol. 7. P. 477–488.
20. Акимов В.А., Лесных В.В., Рязанов Н.Н. Основы анализа и управления риском в природной и техногенной сферах. М.: Деловой экспресс, 2004. 352 с.
21. Ломакин М.И., Докукин А.В., Мошков В.Б., Олтян И.Ю., Ниязова Ю.М. Оценка ущерба от чрезвычайной ситуации в условиях неполных данных // Технологии гражданской безопасности. 2022. Т. 19. № 3 (73). С. 32–36. EDN: ZUSCWO.
22. Щеглов А.Н., Жалнин К.Ю., Олтян И.Ю., Арефьева Е.В., Болгов М.В., Часнавичюс Ю.К., и др. О методе прогнозирования параметров катастрофических наводнений на неизученных территориях в целях оценки риска чрезвычайных ситуаций // Технологии гражданской безопасности. 2022. Т. 19. № 3 (73). С. 78–83. EDN: MXDHWZ.
23. Oltyan I.Y., Arefyeva E.V., Kotosonov A.S. Remote assessment of an integrated emergency risk index // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety (Sochi, 06–12 September 2020). IOP Publ. Ltd, 2020. Vol. 962, Iss. 4. P. 042053. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/962/4/042053>. EDN: XJGGYQ
24. Щеглов А.Н., Жалнин К.Ю., Радионов Г.П., Олтян И.Ю., Арефьева Е.В., Болгов М.В., и др. Результаты расчетов гидрологических параметров для оценки риска чрезвычайных ситуаций на неизученных территориях на основе моделирования катастрофических наводнений // Технологии гражданской безопасности. 2022. Т. 19. № 4 (74). С. 11–19. EDN: MLTITI.

25. Goldstein B.P., Rasmussen F.N. LCA of Buildings and the Built Environment // Life Cycle Assessment / M. Hauschild, R. Rosenbaum, S. Olsen (Eds.). Cham: Springer, 2018. Chapter 28. P. 695–720. https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3_28.
26. Yongqiang Zong, Xiqing Chen. The 1998 Flood on the Yangtze, China // Natural Hazards. 2000. Vol. 22. P. 165–184.
27. Hertwich E., Lifset R., Pauliuk S., Heeren N. Resource efficiency and climate change: material efficiency strategies for a low-carbon future. A Report of the int. resource panel. united nations environment programme. Nairobi, 2020. 38 p. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3542680>.
28. Авакян А.Б., Истомина М.Н. Природные и антропогенные причины наводнений // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. 2013. Т. 3. № 1 (4). С. 269–281. EDN: PXKSHV.
29. Авакян А.Б., Полюшкин А.А. Антропогенные факторы наводнений // Водные ресурсы. 1989. № 3. С. 5–13.
30. Авакян А.Б., Полюшкин А.А. Наводнения и защита от них // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. 1990. Вып. 9. С. 76–111.

REFERENCES

1. Suzdaleva A.L. Ecological globalistics and sustainable development at the stage of technogenic transformation of the biosphere. *Geoekologiya. Inzheneraya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*. 2020;1:6-11. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0869780920010196>. EDN: HKJMPL.
2. Niyazgulov U.D., Tshovrebov E.S. The formation of an integrated management system and geoinformational monitoring systems waste transport construction. *Kachestvo. Innovatsii. Obrazovanie*. 2017;12:56-61. (In Russ.). EDN: YOOMVO.
3. Velichko E., Tshovrebov E., Niyazgulov U. Organizational, technical and economic fundamentals of waste management and monitoring. In: *Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering, TPACEE 2019. E3S Web of Conferences*. 20-22 November 2019, Moscow. France: EDP Sciences; 2020. p. 08031. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016408031>. EDN: ICANYZ.
4. Tshovrebov E.S., Kostarev S.N. Forecasting of environmental threats arising during the operation of construction and urban facilities. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo = News of higher educational institutions. construction*. 2023;1:95-108. (In Russ.). <https://doi.org/10.32683/0536-1052-2023-769-1-95-108>. EDN: MZHGHI.
5. Tshovrebov E.S., Gordienko A.N. A method for assessing environmental threats and risks in the operation of technosphere objects. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of technosphere risk management*. 2023;1:114-126. (In Russ.). EDN: BFHLEX.
6. Niyazgulov U., Tshovrebov E., Yuriev K. Methods for monitoring aquatic ecosystems and bioresources. *Vestnik Tuvinskogo gosudarstvennogo universiteta. №2 Estestvennye i sel'skokhozyaistvennye nauki*. 2014;2:114-119. (In Russ.). EDN: SFAERZ.
7. Tshovrebov E.S. Problems of protection of surface water bodies during construction. *EKOSinform*. 2008;12:50-54. (In Russ.). EDN: XPEQEP.
8. Osipov V.I. Natural disasters at the turn of the 21st century. *Vestnik Rossiiskoi akademii nauk*. 2001;71(4):291-302. (In Russ.).
9. Dobrovolskii S.G., Istomina M.N. Floods of the world. Moscow: Geos; 2006. 256 p. (In Russ.). EDN: YHNHUX.
10. Nezhikhovskii R.A. Floods on rivers and lakes. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1988. 183 p. (In Russ.).
11. Ratkovich D.Ya., Ratkovich L.D. Water supply issues of the day. *Vodnye resursy*. 2000;27(3):261-266. (In Russ.).
12. Avakian A.B. Floods in the past, present and future: the concept of protection. *Ispol'zovanie i okhrana vodnykh resursov v Rossii*. 2001;10:43-49. (In Russ.). EDN: USROTO.
13. Kalinina M.N., Orlov E.V. Flooding urban territory. *Sistemnye tekhnologii*. 2018;4:120-123. (In Russ.). EDN: YRSCKT.
14. Pupyrev E.I. Life support systems of cities. Moscow: Nauka; 2006. 274 p. (In Russ.).
15. Deryugin G.K., Naumov O.S. Destruction of dams in connection with the passage of discharge costs. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo*. 1995;7:30-33. (In Russ.).
16. Malik L.K. Risk factors for damage to hydraulic structures: safety issues. Moscow: Nauka; 2005. 354 p. (In Russ.). EDN: QMISRX.
17. Ilyichev V.A., Emelianov S.G., Kolchunov V.I., Karimov A.M., Gordon V.A., Bakaeva N.V. The conception of biosphere compatibility as basis of town-planning and settling doctrine. *Strategicheskie priority*. 2014;1:71-84. (In Russ.). EDN: TWOJYB.

18. Grafkina M.V., Potapov A.D. The analysis of ecologic safety of building systems is a nature-technical complex (theoretical basis). *Vestnik MGSU*. 2008;1:23-28 (In Russ). EDN: MVHAJP.
19. Slesarev M., Makarova A. Environmental safety of construction as a factor of graphoanalytical modeling of product parameters. *Revista Inclusiones*. 2020;7:477-488. (In Russ.).
20. Akimov V.A., Lesnyh V.V., Ryazaev N.N. *Basis of analysis and management of risks in a nature and tehnogenion spheres*. Moscow: Business express; 2004. 352 p. (In Russ.).
21. Lomakin M.I., Dokukin A.V., Moshkov V.B., Oltyan I.Yu., Niyazova Ju.M. Emergency situation damage assessment in the conditions of incomplete data. *Tekhnologii grazhdanskoi bezopasnosti*. 2022;19(3):32-36. (In Russ). EDN: ZUSCWO.
22. Shcheglov A.N., Zhalnin K.Yu., Oltyan I.Yu., Arefyeva E.V., Bolgov M.V., Chiasnavichius Ju.K. On the method of forecasting catastrophic floods parameters in unexplored territories to assess the risk of emergencies. *Tekhnologii grazhdanskoi bezopasnosti*. 2022;19(3):78-83. (In Russ.). EDN: MXDHWZ.
23. Oltyan I.Y., Arefyeva E.V., Kotosonov A.S. Remote assessment of an integrated emergency risk index. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety*. 06-12 September 2020, Sochi. IOP Publ. Ltd; 2020. Vol. 962, Iss. 4. p. 042053. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/962/4/042053>. EDN: XJGGYQ.
24. Shcheglov A.N., Zhalnin K.Yu., Radionov G.P., Oltyan I.Yu., Arefyeva E.V., Bolgov M.V., Chiasnavichius JU.K. Estimation results of hydrological parameters for assessing risk of emergencies in unexplored areas based on catastrophic floods modeling. *Tekhnologii grazhdanskoi bezopasnosti*. 2022;19(4):11-19. (In Russ.). EDN: MLTITI.
25. Goldstein B.P., Rasmussen F.N. LCA of Buildings and the Built Environment. In: *Life Cycle Assessment*. M. Hauschild, R. Rosenbaum, S. Olsen (Eds.). Cham: Springer; 2018. Chapter 28. P. 695–720. https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3_28.
26. Yongqiang Zong, Xiqing Chen. The 1998 Flood on the Yangtze, China. *Natural Hazards*. 2000;22:165-184.
27. Hertwich E., Lifset R., Pauliuk S., Heeren N. Resource efficiency and climate change: material efficiency strategies for a low-carbon future. A Report of the int. resource panel. united nations environment programme. Nairobi, 2020. 38 p. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3542680>.
28. Avakian A.B., Istomina M.N. Natural and anthropogenic causes of floods. *Strategiya grazhdanskoi zashchity: problemy i issledovaniya*. 2013;3(1):269-281. (In Russ.). EDN: PXKSHV.
29. Avakian A.B., Polyushkin A.A. Anthropogenic factors of floods. *Vodnye resursy*. 1989;3:5-13. (In Russ.).
30. Avakian A.B., Polyushkin A.A. Floods and protection from them. *Problems of the environment and natural resources*. 1990;9:76-111. (In Russ.).

Информация об авторах

Цховребов Эдуард Станиславович,
к.э.н., доцент,
старший научный сотрудник,
Всероссийский научно-исследовательский
институт по проблемам гражданской обороны
и чрезвычайных ситуаций МЧС России
(Федеральный центр науки
и высоких технологий),
121352, г. Москва, ул. Давыдовская, 7,
Россия,
✉ e-mail: rebrovstanislav@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9481-3832>
Author ID: 470064

Ниязгулов Урал Давлетшиевич,
к.э.н., профессор кафедры геодезии,
геоинформатики и навигации,
Российский университет транспорта,
127994, г. Москва, ул. Образцова, 9, Россия
e-mail: transgeo@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0749-1853>
Author ID: 932331

Information about the authors

Eduard S. Tshovrebov,
Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor,
Senior Researcher,
All-Russian Scientific Research Institute
for Civil Defence and Emergencies
of the EMERCOM of Russia
(Federal Science and High Technology
Center),
7 Davydkovskaya St., Moscow 121352,
Russia,
✉ e-mail: rebrovstanislav@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9481-3832>
Author ID: 470064

Ural D. Niyazgulov,
Cand. Sci. (Econ.), Professor of the Department
of Geodesy, Geoinformatics and Navigation,
Russian University of Transport,
9 Obrastsova St., Moscow 127994, Russia,
e-mail: transgeo@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0749-1853>
Author ID: 932331

Сергеев Евгений Борисович,

научный сотрудник,
Всероссийский научно-исследовательский
институт по проблемам гражданской
обороны и чрезвычайных ситуаций
МЧС России (Федеральный центр науки
и высоких технологий),
121352, г. Москва, ул. Давыдовская, 7,
Россия,
e-mail: alik574@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2813-2600>
Author ID: 1082860

Прус Юрий Витальевич,

д. физ.-мат. н., профессор,
Всероссийский научно-исследовательский
институт по проблемам гражданской
обороны и чрезвычайных ситуаций
МЧС России (Федеральный центр науки
и высоких технологий),
121352, г. Москва, ул. Давыдовская, 7,
Россия,
e-mail: prus.y@gubkin.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9781-9458>
Author ID: 13514

Evgeniy B. Sergeev,

Research Associate,
All-Russian Scientific Research Institute
for Civil Defence and Emergencies
of the EMERCOM of Russia
(Federal Science
and High Technology Center),
7 Davydkovskaya St., Moscow 121352,
Russia,
e-mail: alik574@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2813-2600>
Author ID: 1082860

Yuriy V. Prus,

Dr. Sci. (Phys.–Math.), Professor,
All-Russian Scientific Research Institute
for Civil Defence and Emergencies
of the EMERCOM of Russia
(Federal Science
and High Technology Center),
7 Davydkovskaya St., Moscow 121352,
Russia,
e-mail: prus.y@gubkin.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9781-9458>
Author ID: 13514

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 01.12.2023.
Одобрена после рецензирования 14.12.2023.
Принята к публикации 19.12.2023.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Conflict of interests

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

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

Information about the article

The article was submitted 01.12.2023.
Approved after reviewing 14.12.2023.
Accepted for publication 19.12.2023.



Теоретическое обоснование выбора технических решений систем обеспечения микроклимата крытых катков

С.В. Чуйкин^{1✉}, О.А. Куцыгина²

^{1,2}Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия

Аннотация. Специфика обеспечения микроклимата крытых катков и ледовых арен заключается в создании температурно-влажностного режима, при котором не допускается образование тумана у поверхности льда, ухудшение его механических свойств и образование конденсата на строительных и вспомогательных конструкциях. Цель исследования – теоретически обосновать выбор схемы воздухообмена в зоне ледового поля, а также предложить конструкцию центрального кондиционера, реализующего предложенный способ воздухообмена, способствующие снижению энергозатрат на обработку воздуха. Предложены методы организации воздухообмена, способствующие достижению требуемых характеристик и параметров, а также обеспечивающие формирование множества вариантов схем обработки воздушных масс и компоновки центральных кондиционеров. Сформулированы принципы организации воздухообмена в зоне ледового поля, такие как подача приточного воздуха сосредоточенными струями, направляемыми под углом или вертикально вниз из верхней зоны пространства крытых катков и ледовых арен и удаление вытяжного воздуха из верхней или обслуживаемой зон. Варианты компоновки секций оборудования центральных кондиционеров и последовательность процессов обработки влажного воздуха на Id-диаграмме показаны по схемам: «сверху–вверх», «сверху–вниз» и «смешанная», характеризующим различия в расходе энергетических ресурсов, стоимостных показателей для оборудования и эксплуатации, что определяет многофакторность и многокритериальность задачи выбора проектного варианта в условиях неопределенности. На основе анализа результатов исследования по критерию дисконтированных затрат теоретически обоснован выбор «смешанной» схемы организации воздухообмена и определена область экономической целесообразности выбранного варианта.

Ключевые слова: кондиционирование воздуха, крытые катки, схема воздухообмена, центральный кондиционер, смешение потоков, обоснование проекта

Для цитирования: Чуйкин С.В., Куцыгина О.А. Теоретическое обоснование выбора технических решений систем обеспечения микроклимата крытых катков // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 1. С. 119–132. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-1-119-132>. EDN: QBSQXD.

Original article

Theoretical justification for the choice of technical solutions for microclimate support systems of indoor ice rinks

Sergey V. Chuykin^{1✉}, Olga A. Kutsygina²

^{1,2}Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation

Abstract. The specific character of ensuring the microclimate of indoor ice rinks and ice arenas consists in creating temperature and humidity conditions which prevent fog formation at the ice surface, deterioration of its mechanical properties, and condensation on building structures and auxiliary facilities. The article aims to theoretically justify the choice of an air exchange scheme in the ice arena zone, as well as to propose a design of the central air conditioner that implements the suggested air exchange method. As a result, the energy requirement for air handling can be reduced. The article

proposes methods for air exchange organization contributing to the achievement of the required characteristics and parameters. Employing these methods also results in many options of air mass handling schemes and the layout of central air conditioners. The principles of organizing air exchange in the ice arena zone were formulated. They include supplying incoming air with concentrated airstreams directed at an angle or vertically downward from the upper zone of indoor ice rinks and ice arenas and removing exhaust air from the upper or maintenance areas. The Id-diagram shows layout options of equipment sections for central air conditioners and the sequence of humid air handling processes according to the following schemes: *top-up*, *top-down*, and *mixed*. These schemes characterize differences in energy consumption, as well as cost indicators for equipment and operation, which determines the multifactorial and multicriteria nature of selecting a design option under uncertainty. Based on the analysis of the research results with respect to the discounted cost criterion, the choice of the *mixed* scheme for organizing air exchange is theoretically substantiated. Moreover, the study determines the area of economic feasibility of the selected option.

Keywords: air conditioning, indoor skating rinks, air distribution scheme, central air conditioning, flow mixing, project justification

For citation: Chuykin S.V., Kutsygina O.A. Theoretical justification for the choice of technical solutions for microclimate support systems of indoor ice rinks. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'* = *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(1): 119-132. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-1-119-132>. EDN: QBSQXD.

ВВЕДЕНИЕ

Современные спортивные комплексы и сооружения включают крытые катки и ледовые арены, которые требуют создания и постоянно-го поддержания особого температурно-влажностного режима у поверхности льда для предотвращения образования тумана в зоне ледового поля, ухудшения механических свойств поверхности льда и выпадения конденсата на строительных и вспомогательных конструкциях. Обеспечение заданных параметров микроклимата в помещениях крытых катков и ледовых арен реализуется организацией воздухообмена инженерных систем вентиляции и кондиционирования воздуха с высокой производительностью и, как следствие, значительной стоимостью сооружения и расхода энергетических ресурсов для последующей эксплуатации.

Системы кондиционирования получают все большее распространение в России, однако, сведений о потреблении ими энергии недостаточно. По данным, представленным Центром энергоэффективности (ЦЭНЭФ)¹, на цели отопления, вентиляции, кондиционирования и освещения жилищ в России приходится 239 кВт·ч/(м² в год), и при применении наилучших доступных технологий для климатических условий России эта величина может быть снижена почти в 5 раз – до 50 кВт·ч/м² в год.

Указанные особенности определяют актуальность разработки и обоснования вариантов организационных и инженерно-технических

решений систем вентиляции и кондиционирования воздуха крытых катков и ледовых арен, выбора проектных решений, основанных на принципах энергоэффективности и рационального использования ресурсов при достижении требуемого качества эксплуатации.

Цель исследования состоит в теоретическом обосновании выбора схемы воздухообмена для зоны ледового поля, способствующей снижению энергозатрат на обработку воздушных масс и разработке компоновки центрального кондиционера, соответствующей выбранному способу воздухообмена. Поскольку, в соответствии с работами [1–8], температурно-влажностный режим катков и ледовых арен поддерживается системами кондиционирования, объектами исследования в данной статье являются варианты схем воздухораспределения и конструктивных решений соответствующих им центральных кондиционеров.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В настоящее время воздухообмен зоны ледового поля может осуществляться при подаче притока из верхней зоны сосредоточенными струями, направляемыми под углом или вертикально вниз [9–12], и удалении вытяжного воздуха из верхней [9, 10] или обслуживаемой зон [11, 12].

Особые свойства микроклимата в зоне ледового поля позволяют выделить ряд основных технологических процессов обработки воздуха, обеспечивающих поддержание температурно-влажностного режима в требуемом интервале

¹Башмаков И.А. Сравнение уровней энергоэффективности зданий в России и зарубежных странах // Cenef.ru. Режим доступа: <http://www.cenef.ru/file/ComparisonEEfBuilding.pdf> (дата обращения: 19.01.2024).

параметров. К ним относят процессы осушения, нагрева и смешения воздушных масс, причем ввиду требований по предотвращению образования тумана и конденсата, наибольшее значение для рассматриваемого типа объектов имеет процесс осушения воздуха [1–3, 12–14].

Для его реализации широкое распространение получили установки с роторными адсорбционными осушителями, заполняемыми специальными силикагелями.

Однако следует учесть, что такие устройства требуют значительных объемов капитальных вложений и эксплуатационных затрат, что ограничивает возможность развития сети крытых катков и малых ледовых арен, находящихся за пределами крупных городов и региональных центров. Например, стоимость приточно-вытяжной установки фирмы *Korf*, рассчитанной на обработку 8500 м³/ч приточного воздуха и состоящей из секций фильтров, камер нагрева, смешения, теплоутилизатора (осушителя), приточного и вытяжного вентиляторов, воздушных клапанов, составляет порядка 25 млн руб. с учетом стоимости систем автоматики и регулирования (по состоянию на июль 2023 г.).

Снижение затрат на оборудование систем кондиционирования можно обеспечить путем применения устройств, основанных на альтернативных физических принципах. Таковыми являются поверхностные воздухоохладители, для которых в работах [9, 15–17] предлагается ряд схемных решений центральных кондиционеров. Главной проблемой предлагаемых схем является необходимость охлаждения воздуха за счет доведения показателей относительной влажности воздуха до 90–95%, что при определенных условиях приводит к обмерзанию теплообменника, и, в свою очередь, снижает КПД установки. Предотвратить такие последствия можно путем предварительной обработки наружного воздуха перед осушением. А наиболее целесообразным способом для этого является использование особенностей распределения температуры и влажности в различных зонах крытого катка, подробно рассмотренных в [1–5, 17–19]. При этом забор воздуха на рециркуляцию из верхней и нижней зон и поэтапное смешение таких объемов с наружным воздухом происходит посредством применения смешанной схемы воздухообмена, предложенной ранее в работах [3–5].

Реализация рассматриваемой технологии обработки воздуха возможна с помощью предлагаемой компоновки секций для системы кондиционирования воздуха крытых катков, учитывающей дополнительно к базовой установку вытяжного вентилятора, камеру смешения, фильтр, датчики температуры, влажности, перепада давлений, а так же воздушные клапаны

с электроприводами. Именно наличие отдельных секций вытяжных вентиляторов и секций смешения позволяет осуществить ступенчатое смешивание наружного и рециркуляционного воздуха с переменными параметрами и обеспечить возможность регулирования соотношения расходов воздуха на рециркуляцию из различных зон ледового катка.

Схемы компоновки секций оборудования центрального кондиционера (существующие и предлагаемая) с визуализацией основного принципа и последовательности процессов обработки влажного воздуха на Id-диаграмме приведены на рис. 1.

Для первой схемы (рис. 1, I, «сверху–вверх»), получившей наибольшее распространение, вытяжной воздух из верхней зоны после секции вытяжного вентилятора поступает в распределительную камеру, из которой часть воздуха выбрасывается в вытяжную шахту, а часть подается далее на рециркуляцию и перемешивается в камере смешения с приточным воздухом.

Затем полученная смесь с измененными параметрами фильтруется и, проходя через воздухоохладитель и калорифер, приточным вентилятором подается в воздухораспределительную сеть.

Отличие схемы «сверху–вниз» (рис. 1, II) состоит в том, что вытяжной воздух забирается из обслуживаемой зоны. Вследствие этого в холодный период года может возникнуть необходимость в его дополнительном увлажнении. Для этого центральный кондиционер снабжается дополнительной секцией форсуночного увлажнителя, расположенного перед калорифером.

Предлагаемая смешанная схема обработки воздуха (рис. 1, III) обеспечивается дополнительной установкой вытяжного вентилятора, воздушных клапанов с электроприводами, смесительной камеры, датчиков давления и температуры.

Расположение приточно-вытяжных воздухопроводов и воздухозаборных устройств в верхней и обслуживаемой зонах катка позволяет отбирать воздух с отличающимися параметрами для рециркуляции, который в дальнейшем подается в отдельные смесительные камеры.

Воздух из двух зон подается на обработку за счет двух регулируемых вентиляторов, устанавливаемых в отдельных секциях центрального кондиционера, что предотвращает преждевременное смешивание рециркуляционных потоков. Благодаря регулированию соотношения расходов рециркуляционного воздуха с различными параметрами обеспечивается плавное регулирование параметров подаваемого в зону ледового поля воздуха.

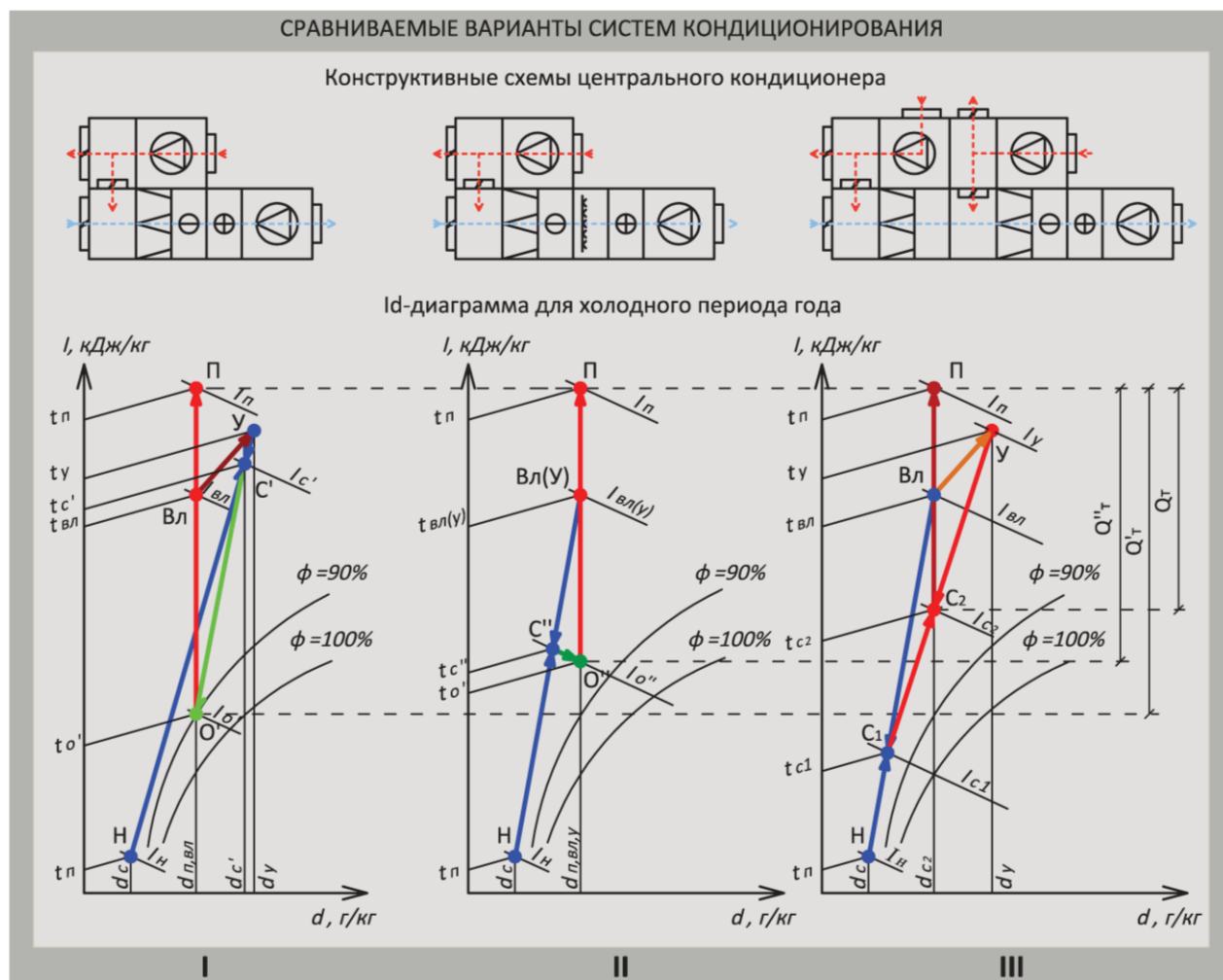


Рис. 1. Схемы обработки приточного воздуха для зоны ледового поля в центральном кондиционере
Fig. 1. Supply air treatment schemes for the ice field area in the central air conditioner

В соответствии со смешанной схемой наружный воздух в минимально допустимом по санитарно-эпидемиологическим нормам количестве поступает в смесительную камеру наружного и рециркуляционного воздуха первой ступени, где он перемешивается с рециркуляционным воздухом, поступающим из камеры разделения рециркуляционного и выбрасываемого воздуха, установленной после блока вытяжного вентилятора для удаления воздуха из обслуживаемой (рабочей) зоны. Далее после первой ступени смешения смесь наружного и рециркуляционного воздуха проходит через карманный фильтр и очищается, а после промежуточной камеры поступает в секцию смешения с рециркуляционным воздухом второй ступени, поступающим из камеры разделения рециркуляционного и выбрасываемого воздуха, установленной после блока вытяжного вентилятора, предназначенного для удаления

воздуха из верхней зоны. Образованная смесь наружного воздуха и воздуха после двух ступеней рециркуляции очищается во втором карманном фильтре и поступает в поверхностный воздухоохладитель. После осушения в секции охлаждения воздух проходит через водяной калорифер, нагревается и приточным вентилятором подается в помещение.

Поверхностный воздухоохладитель включается в работу при необходимости осушения обрабатываемого воздуха до требуемых значений влагосодержания приточного воздуха и регулируется системой автоматики, принимающей сигнал от совмещенного датчика температуры и влажности. Расход удаляемого воздуха из верхней и обслуживаемой зон регулируется преобразователями частоты электродвигателей вентиляторов, причем один из вентиляторов может быть отключен. Тогда воздушный баланс помещения крытого катка обеспечивается рабо-

той вентилятора другой ступени.

Соотношение объема рециркуляционного воздуха на первой и второй ступенях смешения регулируется электроприводами воздушных клапанов и определяется итерационным методом, исходя из условий необходимого равенства влагосодержания обработанного в камере охлаждения и приточного воздуха. Изменение соотношения объемов рециркуляционного воздуха с отличающимися параметрами,

поступающего из верхней и обслуживаемой зон, позволяет добиться регулирования термодинамических параметров влажного воздуха при его подготовке в центральном кондиционере без дополнительных энергозатрат на увлажнение, а в ряде случаев – и на охлаждение. Расшифровка последовательности процессов обработки влажного воздуха для рассматриваемых схем приводится в табл. 1.

Таблица 1. Технологическая последовательность обработки воздуха в центральном кондиционере при различных схемах воздухообмена
Table 1. Technological sequence of air treatment in a central air conditioner with various air exchange schemes

Обозначение процесса	Описание процесса
I схема «сверху-вверх»	
<i>H-C'-У</i>	Смешение санитарной нормы наружного воздуха с рециркуляционным воздухом, отбираемым из верхней зоны, в секции смешения
<i>C'-О</i>	Осушение воздуха после смешения в секции поверхностного охладителя до требуемого влагосодержания приточного воздуха
<i>О-П</i>	Подогрев воздуха в калорифере после осушения
<i>П-Вл</i>	Охлаждение приточного воздуха при теплообмене с поверхностью льда
<i>Вл-У</i>	Ассимиляция тепло- влагоизбытков удаляемым из верхней зоны воздухом
II схема «сверху-вниз»	
<i>H-C''-Вл(У)</i>	Смешение санитарной нормы наружного воздуха с рециркуляционным воздухом, отбираемым из обслуживаемой зоны, в секции смешения
<i>C''-О</i>	Увлажнение воздуха после смешения в секции форсуночного увлажнения до требуемого влагосодержания приточного воздуха
<i>О-П</i>	Подогрев воздуха в калорифере после камеры увлажнения
<i>П-Вл(У)</i>	Охлаждение приточного воздуха при теплообмене с поверхностью льда
III смешанная схема	
<i>H-C₁-Вл</i>	Смешение санитарной нормы наружного воздуха с рециркуляционным воздухом, отбираемым из обслуживаемой зоны, в секции смешения первой ступени
<i>C₁-C₂-У</i>	Смешение воздуха после смесительной камеры первой ступени с рециркуляционным воздухом, отбираемым из верхней зоны, в секции смешения второй ступени
<i>C₂-П</i>	Подогрев воздуха в калорифере после секции смешения второй ступени
<i>П-Вл</i>	Охлаждение приточного воздуха при теплообмене с поверхностью льда
<i>Вл-У</i>	Ассимиляция тепло- влагоизбытков удаляемым из верхней зоны воздухом

Анализ параметров при обработке влажного воздуха по приведенным на рис. 1 схемам в соответствии с ID-диаграммой показывает, что затраты теплоты и холода при смешенной схеме ниже по сравнению с другими вариантами схем. Это подтверждается проведенными расчетами энергозатрат для рассматриваемых схем по среднемесячным климатическим параметрам, свойственным Центральному Черноземью и определяет их уровень по вариантам. Таким образом, проектирование системы кондиционирования воздуха представляет собой многовариантную задачу, требующую решения в результате обоснования расхода ресурсов с учетом множества факторов, которые зачастую действуют разнонаправленно. Многовариантное проектирование становится доступным в

результате использования технологии BIM, поскольку представляет собой инструмент его реализации и информационную базу для расхода ресурсов на этапах строительства и эксплуатации инженерных систем и сооружений. Ресурсы могут быть представлены в стоимостном и натуральном выражении. Так, снижение расхода теплоты или электроэнергии в МВт может стать перерасходом в стоимостном выражении, если возрастет стоимость единицы в рублях. Кроме того, поскольку системы кондиционирования представляют собой оборудование, предназначенное для обеспечения заданных условий микроклимата, а не выпуска продукции для продажи, целесообразно при достижении требуемых параметров обеспечивать наименьшую стоимость и расход ресурсов.

Поэтому критерием выбора проектных решений схем и компоновки системы кондиционирования воздуха [4, 7] целесообразно принять сумму дисконтированных затрат за период их учета по формуле

$$З_d = \sum_{t=0}^T \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J Z_{tij} \cdot \alpha_t + \sum_{t=T}^T \sum_{h=1}^H K_{th} \cdot \alpha_t, \quad (1)$$

где $З_d$ – дисконтированные затраты на этапах строительства и эксплуатации системы кондиционирования воздуха, тыс. р., для вариантов схем обработки воздуха катков и ледовых арен; Z_{tij} – годовые эксплуатационные затраты вида i для реализации проекта системы кондиционирования воздуха для катков и ледовых арен, включая затраты на тепловую и электрическую энергию, воду, холод, текущее обслуживание и ремонты, приведенные к началу эксплуатационного периода $t=0$, тыс.р.; j – элементы эксплуатационных затрат (материалы, оплаты труда и др.), тыс. р.; t – эксплуатационный период, годы, период учета $T=10$ лет; α_t – коэффициент дисконтирования или приведения разновременных затрат и результатов

к базисному периоду, принимаемому равным $t_0=0$ и определяемому по формуле

$$\alpha_t = \frac{1}{(1+e)^t}, \quad (2)$$

где e – норма дисконта, принимаемая равной норме дохода на капитал, принимается $e = 0,1$; K_{th} – объем капитальных вложений (сметная стоимость) системы кондиционирования воздуха по сравниваемым вариантам, тыс. руб.

Следует учесть, что для вариантов с одинаковыми значениями дисконтированных затрат сочетания капитальных вложений и годовых эксплуатационных затрат могут быть различными, а окончательный выбор решения остается за инвестором. В табл. 2 приведена группировка показателей материальных ресурсов в составе сметной стоимости системы кондиционирования воздуха для зоны ледового поля по рассмотренным вариантам, включая центральный кондиционер, приточно-вытяжные воздухопроводы с учетом тепловой изоляции, воздухораспределительные и воздухозаборные устройства.

Таблица 2. Группировка материальных ресурсов в составе сметной стоимости системы кондиционирования воздуха для зоны ледового поля

Table 2. Grouping of material resources as part of the estimated cost of the air conditioning system for the ice field area

Материальный ресурс	Схема воздухообмена		
	«сверху–вверх»	«сверху–вниз»	«смешанная»
Центральный кондиционер	секции фильтров (1 ед.), шумоглушителя (2 ед.), подогрева (калорифер), камера смешения (1 ед.), охлаждения, приточного и вытяжного вентилятора, насосы системы охлаждения, регуляторы расхода воздуха (1 ед.), камера разделения потоков (1 ед.)		
	–	камера увлажнения	секция фильтров (1 ед.), шумоглушитель (1 ед.), камера смешения (1 ед.), вытяжного вентилятора (1 ед.), регуляторы расхода воздуха (4 ед.), камера разделения потоков (1 ед.), промежуточная камера
Приточно-вытяжные воздухопроводы с теплоизоляцией	приточные воздухопроводы		
	вытяжные воздухопроводы верхней зоны	вытяжные воздухопроводы рабочей зоны	вытяжные воздухопроводы верхней зоны, вытяжные воздухопроводы рабочей зоны
Компрессорные установки	компрессорный блок		
Системы автоматики и регулирования	датчики температуры воздуха и теплоносители, привод воздушной заслонки, термостаты, блоки управления, смесительные узлы, преобразователи частот вентиляторов, датчики перепада давления и др.		

При равенстве капитальных вложений по вариантам кроме капитальных вложений,

в составе дисконтированных затрат следует учитывать годовые эксплуатационные расходы

по формуле

$$I_{\text{ГОД}} = I_T + I_{\text{Э}} + I_X + I_B + I_A + I_K, \quad (3)$$

где I_T , $I_{\text{Э}}$, I_X , I_B , I_A , I_K – соответственно годовые затраты на тепловую энергию, руб., электроэнергию, руб., холод, руб., воду, руб., амортизацию, руб., текущий и капитальный ремонт, руб. [4, 7].

Особенностью систем вентиляции и кондиционирования воздуха является высокая энергоёмкость в результате использования теплоты, электроэнергии и холода для их применения по назначению или эксплуатации. По данным «МФД-ИнфрoЦентра» на вентиляцию и системы кондиционирования в мире уже приходится около 10 % от всей производимой электроэнергии. Кроме того, прогнозируемый спрос на системы кондиционирования втрое к 2050 г. повлечет еще более значительный рост энергопотребления, свыше уровня ЕС и США вместе взятых². Таким образом, при анализе эксплуатационных затрат в системах кондиционирования воздуха для зоны ледового поля целесообразно учитывать только годовые показатели стоимости теплоты, воды и электроэнергии, поскольку холод для рассматриваемого объекта вырабатывается на компрессорных установках, а основным энергоресурсом для них является электроэнергия.

Затраты на тепловую энергию определяют по формуле [9]

$$I_T = Q_T \cdot C_T, \quad (4)$$

где C_T – цена (тариф) теплоты, р./Гкал; Q_T – годовое количество потребляемой теплоты, Гкал/год.

Затраты на электроэнергию определяются по формуле [9]

$$I_{\text{Э}} = Q_{\text{Э}} \cdot C_{\text{Э}}, \quad (5)$$

где $C_{\text{Э}}$ – цена (тариф) электроэнергии, р./кВт·ч; $Q_{\text{Э}}$ – годовой расход потребляемой электроэнергии, кВт·ч/год, определяется по формуле

$$Q_{\text{Э}} = k_{\text{И}} \cdot N \cdot t, \quad (6)$$

где $k_{\text{И}}$ – коэффициент использования по активной мощности за год; t – число часов работы электропотребляющих устройств в год, ч; N – суммарная номинальная мощность электропотребляющих устройств, кВт, определяется по формуле [9]

$$N = N_{\text{х.м}}^{\text{ном}} + N_{\text{н}}^{\text{э}} + N_{\text{в}}^{\text{э}}, \quad (7)$$

где $N_{\text{х.м}}^{\text{ном}}$ – годовое потребление электроэнергии компрессорами, кВт, определяется по формуле

$$N_{\text{х.м}}^{\text{ном}} = \frac{Q_X}{\eta_{\text{х.м}}}, \quad (8)$$

где Q_X – холодопроизводительность (затраты холода) холодильных установок, кВт; $\eta_{\text{х.м}}$ – холодильный коэффициент; $N_{\text{н}}^{\text{э}}$ – номинальная мощность электродвигателей насосов, перекачивающих вторичный холодоноситель в системе центрального кондиционирования воздуха зоны ледового поля, кВт, определяется по формуле [17]

$$N_{\text{н}}^{\text{э}} = \frac{G_X \cdot H_W}{3600 \cdot \rho_W \cdot \eta_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{эл}}}, \quad (9)$$

где $\eta_{\text{н}}$ – КПД насоса; $\eta_{\text{эл}}$ – КПД электродвигателя; H_W – потери напора, кПа; ρ_W – плотность воды, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; G_X – расход охлаждающей воды в воздухоохладителе центрального кондиционера, кг/ч, определяется по формуле [4]

$$G_X = \frac{Q_X \cdot 3600}{\Delta t_W \cdot c_W}, \quad (10)$$

где Δt_W – температурный напор (поверхность-теплоноситель), °С; c_W – теплоемкость теплоносителя, кДж/(с·кг). $N_{\text{в}}^{\text{э}}$ – годовое потребление электроэнергии вентиляторами систем кондиционирования воздуха, номинальная мощность которых, кВт, определяется по формуле [4]

$$N_{\text{в}}^{\text{э}} = \frac{L_B \cdot P_B}{3600 \cdot \eta_{\text{в}} \cdot \eta_{\text{эл}}}, \quad (11)$$

где L_B – производительность вентиляторов, м³/ч; P_B – аэродинамическое сопротивление системы вентиляции и кондиционирования, кПа; $\eta_{\text{в}}$ – КПД вентилятора.

Затраты на воду могут быть найдены по формуле [9]

$$I_B = W_B \cdot C_B, \quad (12)$$

где C_B – цена (тариф) воды, р./куб. м; W_B – годовой расход воды в год, м³/год.

В центральных кондиционерах необходимо учитывать расход воды на подпитку, м³/год, который допустимо определять по укрупненной зависимости:

$$G_w^{\text{под}} = g_w^{\text{под}} \cdot T_z, \quad (13)$$

где $g_w^{\text{под}}$ – часовой расход воды на подпитку, м³/ч; T_z – годовой фонд рабочего времени, ч.

²Энергопотребление систем кондиционирования к 2050 г превзойдет ЕС и США // МФК ИНВЕСТ. Режим доступа: <https://mfk-invest.ru/energopotreblenie-sistem-kondicionirovaniya-k-2050-g-prevzoydet-es-i-ssha-sechin/> (дата обращения: 19.01.2024).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Различия в составе материальных ресурсов для системы кондиционирования воздуха определяют отклонения в стоимости строительно-монтажных работ для ее сооружения по сравниваемым вариантам.

В табл. 3 приведены показатели составля-

ющих сметной стоимости по вариантам системы кондиционирования воздуха для зоны ледового поля, включая центральный кондиционер, приточно-вытяжные воздуховоды с учетом тепловой изоляции, воздухораспределительные и воздухозаборные устройства.

Таблица 3. Показатели сметной стоимости строительно-монтажных работ по вариантам системы кондиционирования воздуха для зоны ледового поля

Table 3. Indicators of the estimated cost of construction and installation work on air conditioning system options for the ice field zone

Показатели	Схема воздухообмена		
	«сверху–вверх»	«сверху–вниз»	«смешанная»
Центральный кондиционер (ЦК)			
ВЕРОСА-500-173-03-21-УЗ_231028693-ВРЖ	1230160/28	–	–
ВЕРОСА-500-173-03-21-УЗ_231028694-ВРЖ	–	1655253/38	–
ВЕРОСА-500-173-03-21-УЗ_231028695-1-ВРЖ ВЕРОСА-500-173-03-21-УЗ_231028695-ВРЖ	–	–	1512535/34,6
Приточно-вытяжные воздуховоды с теплоизоляцией			
Приточная система (воздуховоды, теплоизоляция, фасонные изделия, воздухораспределители) (ПВВ)	319228/7,3	319228/7,3	319228/7,3
Вытяжная система (воздуховоды, теплоизоляция, фасонные изделия, воздухозаборные устройства) (ПВВ2)	303412/6,9	394435/9,1	5461411/2,4
Компрессорные установки (КУ)			
МАКК 320-1402 МК-РП	2077928/47,6	–	–
МАКК 320-801 МК-РП	–	1535936/35,5	1535936/35
Системы автоматики и регулирования (СА)			
КИП и А для установки 231028693-ВРЖ	434080/10	–	–
КИП и А для установки 231028694-ВРЖ	–	420180/9,7	–
КИП и А для установки 231028695-1-ВРЖ; 231028695-ВРЖ	–	–	456720/10
Итого	4364808/100	4325032/100	4370560/100

Анализ итоговой сметной стоимости (см. табл. 3) показал практическое равенство по вариантам системы кондиционирования воздуха, поскольку различие составляет менее 1 %. Но стоимость третьего варианта – максимальная из трех вариантов и составляет 4370 тыс. руб., что лишь на 45 тыс. руб. и 6 тыс. руб. больше, чем по второму и первому вариантам соответственно. Динамика сметной стоимости элементов в составе системы кондиционирования воздуха приведена на рис. 2 и наглядно показывает, что одинаковую стои-

мость для всех вариантов имеют только системы автоматики (разница 5,2 и 8,4 % для второго и третьего вариантов при доле в стоимости лишь 10%), а также приточные воздуховоды. Стоимость центрального кондиционера имеет определяющую долю в структуре и самое низкое значение для первой схемы, а самое высокое значение – для второй схемы (1 230 160 руб. и 1 655 253 руб. соответственно). Стоимость третьего варианта для смешанной схемы составляет промежуточное значение 1 512 535 руб. и составляет 34,6 % в

структуре. Компрессорные установки имеют одинаковые стоимости для вариантов 2 и 3 (1 535 936 руб.), что значительно меньше, чем стоимость для первого варианта (2 077 928 руб.).

Таким образом, анализ показателей единовременных капитальных вложений позволяет сделать вывод об изменении в их структуре и практически постоянном значении по рассматриваемым вариантам, что не дает явного преимущества при их выборе. Превышение стоимости третьего варианта над вторым на 45 тыс. руб. определяется как сумма превышения стоимости вытяжных систем и систем автоматики на $152 + 36 = 188$ тыс. руб., уменьшенная на соответствующее снижение стоимости ЦК на 143 тыс. руб. ($188 - 143 = 45$ тыс. руб.).

В табл. 4 приведены расчетные значения годовых расходов и эксплуатационных затрат на энергетические ресурсы для вариантов системы кондиционирования ледовой арены крытого катка в зависимости от схемы подачи воздуха.

Анализ годовых расходов и эксплуатационных затрат на энергетические ресурсы по вариантам системы кондиционирования показал, что наибольший расход ресурсов и эксплуатационных затрат требуется для базового первого варианта, а для второго и третьего варианта – значительно снижается и остается практически на одном уровне.

Технико-экономические показатели для сравниваемых вариантов также приведены в табл. 5 и включают дисконтированные затраты по сравниваемым вариантам.

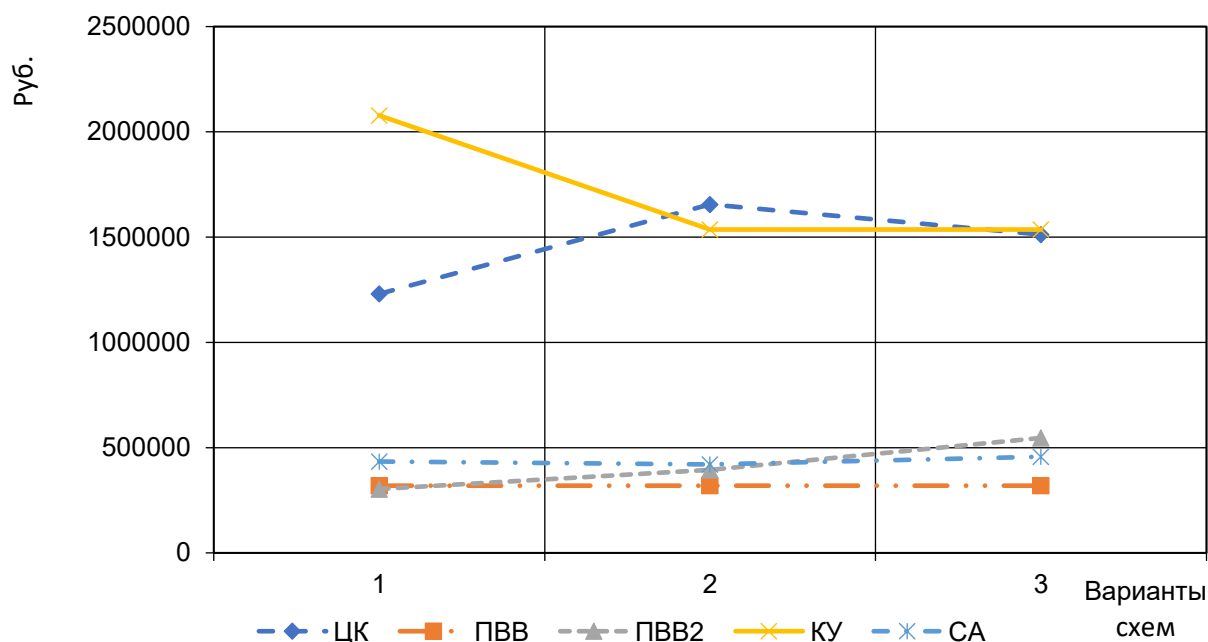


Рис. 2. Показатели динамики сметной стоимости для элементов системы кондиционирования воздуха

Fig. 2. Indicators of the estimated cost dynamics for the elements of the air conditioning system

Следует отметить, что экономически целесообразным вариантом может быть принят третий, поскольку дисконтированные затраты имеют меньшее значение. Экономический эффект от выбора третьего варианта по сравнению с показателями второго и первого вариантов определяется как разница соответствующих значений дисконтированных затрат (420,87 и 3835,857 тыс. руб. соответственно), а также второго варианта по сравнению с первым (3414,987 тыс. руб.). Анализ составляющих дисконтированных затрат показал, что капиталь-

ные вложения по вариантам можно признать равноэкономичными, несмотря на то, что по третьему варианту их значение самое высокое, поскольку различие составляет около 1 % и не оказывает влияния на принятие решения. Годовые эксплуатационные затраты на топливно-энергетические ресурсы различаются и однозначно определяют выбор третьего варианта, поскольку при величине 1 322 656 руб. имеют значение на 30,2 % меньше, чем для первого варианта и на 5,6 % меньше, чем для второго.

Таблица 4. Годовые эксплуатационные затраты на энергетические ресурсы для вариантов системы кондиционирования ледовой арены крытого катка в зависимости от схемы подачи воздуха

Table 4. Annual operating costs for energy resources for indoor ice rink air conditioning system options depending on the air supply scheme

Показатели	Схема воздухообмена		
	«сверху–вверх»	«сверху–вниз»	смешанная
Годовой расход энергоресурсов			
Теплоты (Q_m , МВт)	476,708	383,244	376,072
Холода (Q_x , МВт)	344,01	133,909	133,909
Воды ($G_{ув}$, куб. м)	0	11,32	0
Электроэнергии ($Q_э$, МВт·ч)	70,9	80,3	79,6
Годовые эксплуатационные затраты			
Тепловая энергия (I_m , р.)	782083	628747	616981
Электроэнергия ($I_э$, р.)	1165940	769695	705675
Вода ($I_в$, р.)	–	281	–
Итого	1948023	1398723	1322656

Примечание: тарифы на ресурсы: $C_m = 1908,01$ руб/Гкал, $C_э = 24,86$ руб/м³, $C_в = 4,85$ руб/кВт·ч.

Таблица 5. Техничко-экономические показатели для сравниваемых вариантов

Table 5. Technical and economic indicators for the compared variants

Показатели	Схема воздухообмена		
	«сверху–вверх»	«сверху–вниз»	смешанная
Годовой расход энергоресурсов			
Капитальные вложения по вариантам, руб.	4364808	4325032	4370560
Годовые эксплуатационные расходы, руб.	1948023	1398723	1322656
Дисконтированные затраты, тыс. руб.	16334,566	12919,579	12498,709
Экономический эффект (снижение дисконтированных затрат 3-го варианта по сравнению с вариантами 1 и 2), тыс. руб.	3835,857	420,87	–
То же, 2-го вариант по сравнению с вариантом 1, тыс. руб.	3414,987	–	–
Энергетический эффект (снижение энергетических затрат 3-го варианта по сравнению с вариантами 1 и 2), тыс. руб.	625367	76067	–
То же, 2-го вариант по сравнению с вариантом 1, тыс. руб.	549300	–	–

Следует отметить, что сделанные выводы будут достоверны только для учтенных расчетных значений показателей, поскольку в условиях неопределенности, свойственных рыночной экономике, стоимостные показатели, принимаемые в расчетах в текущий момент времени, могут значительно колебаться как в зависимости от периода времени, так и от возможностей поставщиков в одном и том же

периоде времени.

Поэтому целесообразно определять область исходных данных, для которой сделанные выводы сохраняют достоверность (рис. 3).

Так, например, третий вариант системы центрального кондиционера, реализуемой по «смешанной» схеме, экономически целесообразен при стоимости ЦКЗ = 1512 тыс. руб. и величине ДЗЗ = 12 498 тыс. руб.

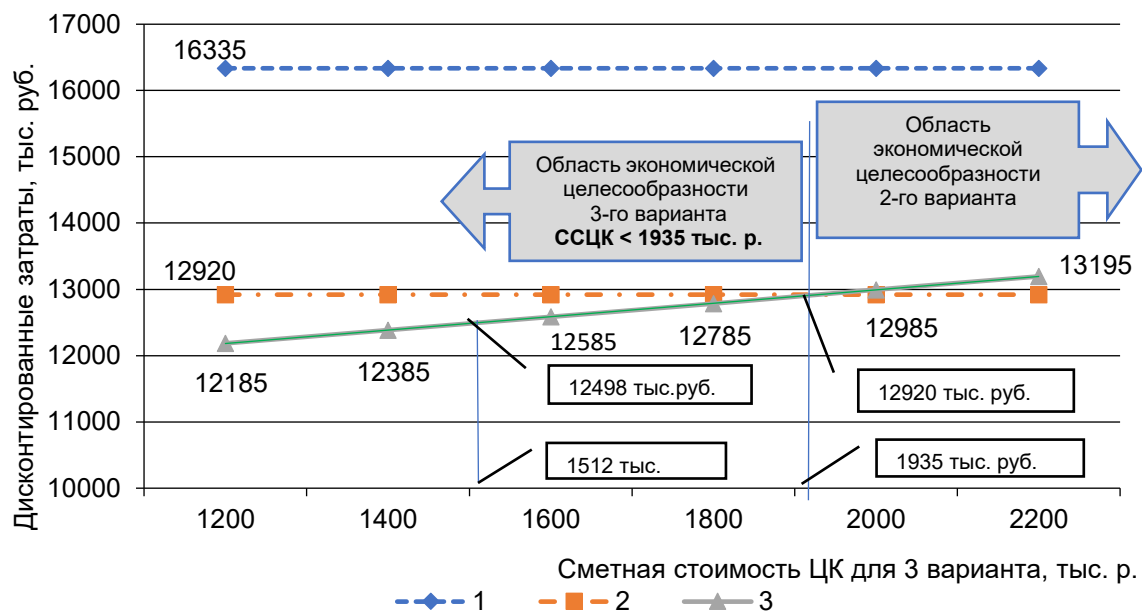


Рис. 3. Область экономической целесообразности применения 3-го варианта
Fig. 3. Scope of economic feasibility of application for 3rd option

Если произойдет вероятное изменение сметной стоимости ЦКЗ под влиянием инновационного развития этих систем и факторов рынка в сторону увеличения, и стоимость ЦКЗ достигнет 1935 тыс. руб., то дисконтированные затраты второго и третьего вариантов станут равны и составят 12 920 тыс. руб., что и определит область их экономической целесообразности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная установка характеризуется тем, что осуществляется двухступенчатое смешение потоков наружного и рециркуляционного воздуха, отбираемого из двух зон, характеризующихся различными температурами, влажностью и энтальпией, при этом соотношение расходов рециркуляции на каждой из ступеней смешения может изменяться за счет регулирования частоты двигателей вытяжных вентиляторов и открытия воздушных клапанов с электроприводами, что позволяет обеспечить требуемое влагосодержание приточного воз-

духа, без его дополнительного увлажнения или осушения, увеличивающего энергозатраты. Обоснование выбора технических решений для систем обеспечения микроклимата открытых катков представляет собой сложную, многофакторную задачу, решение которой зависит от принимаемых конструктивных инженерно-технических и теплотехнических параметров, стоимостных характеристик и других факторов, которые зачастую действуют разнонаправленно и непредсказуемо в условиях неопределенности. Для поиска и выбора проектных решений, наиболее полно удовлетворяющих условиям эксплуатации ледовых катков и спортивных арен, целесообразно реализовать многовариантное проектирование, что возможно с использованием BIM-технологий, выявлять причинно-следственные связи взаимодействующих факторов и определять ограничения, в пределах которых формировать проектные решения для выбора на основе моделирования вариантов затрат.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Денисихина Д.М. Исследование различных схем воздухораспределения ледовых арен // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2015. № 5 (677). С. 38–48. EDN: UBLRPF.
2. Русаков С.В. К выбору схемы распределения воздуха от систем вентиляции и кондиционирования в зале малого крытого ледового катка // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. 2017. № 2. С. 26–34. <https://doi.org/10.17586/2310-1148-2017-10-2/3-26-34>. EDN: ZIGILB.
3. Melkumov V.N., Chuykin S.V. Organization of air distribution of covered multipurpose ice rinks // Scientific herald of the Voronezh state university of architecture and civil engineering. Construction and architecture. 2013. Iss. 3 (19). С. 17–28. EDN: QLHSRZ.
4. Melkumov V.N., Chuikin S.V. A scheme and method of calculation for ventilation and air conditioning systems of ice arenas // Journal of Technology. 2017. Vol. 32. Iss. 2. P. 139–146.

5. Чуйкин С.В. Совершенствование методики расчета параметров влажного воздуха при проектировании систем кондиционирования помещений с искусственным льдом // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2023. № 1 (43). С. 65–72.
6. Demokritou Ph., Chen Q., Yang Ch., Spengler J. The impact of ventilation on air quality in indoor ice skating arenas // *Proceedings of healthy buildings*. 2000. Vol. 2. P. 407–412.
7. Ice Rinks // *Ashrae Refrigeration Handbook*. 1994. Ch. 33. P. 33.1–33.9.
8. Yang Ch., Demokritou Ph., Chen Q., Spengler J. Ventilation and air quality in indoor ice skating arenas // *Ashrae Transactions*. 2000. Vol. 106. P. 4405–4414.
9. Кокорин О.Я., Товарас Н.В. Инженерные системы помещений с искусственным льдом и снегом. М.: Курс, 2014. 240 с.
10. Пухал В.А., Юстус Д.А. Воздухораспределение в помещениях ледовых площадок со зрителями // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2015. № 12 (39). С. 7–31. EDN: VJPKGD.
11. Панкратов В.В., Шилкин Н.В. Особенности климатизации ледовых арен // *АВОК: вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика*. 2009. № 8. С. 24–36.
12. Сошин Р.О., Ткаченко Н.В. Проблемы обеспечения микроклимата ледовых арен // *Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции Факультета архитектуры и дизайна Тихоокеанского государственного университета*. 2016. Т. 3. С. 348–353. EDN: VSVDTN.
13. Русаков С.В. К расчету тепловых и влажностных нагрузок ледовых катков нагрузка от радиационного переноса теплоты // *Научный журнал национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики. Серия: Холодильная техника и кондиционирование*. 2014. № 1. С. 10. EDN: TOBGVX.
14. Русаков С.В. Оценка влияния влажности воздуха на качество микроклимата в зале ледового катка и на состояние ледовой поверхности // *Научный журнал национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики. Серия: Холодильная техника и кондиционирование*. 2015. № 2. С. 92–101. EDN: TXNEHN.
15. Кокорин О.Я., Товарас Н.В., Иньков А.П. Энергосберегающие системы кондиционирования воздуха зоны ледового поля помещений искусственных катков // *Холодильная техника*. 2009. № 4. С. 4–7. EDN: KUVANF.
16. Кокорин О.Я., Товарас Н.В., Иньков А.П. Энергосберегающие системы кондиционирования воздуха в спортивных и общественных зданиях, сооружаемых к олимпийским играм «Сочи-2014» // *Холодильная техника*. 2008. № 2. С. 14–22. EDN: JTCUWH.
17. Кокорин О.Я., Товарас Н.В., Иньков А.П. Системы кондиционирования воздуха помещений искусственных катков с применением осушительных аппаратов // *Холодильная техника*. 2006. №11. С. 18–22. EDN: KXBMXZ.
18. Абрамкина Д.В., Петров Г.А. Особенности вентиляции зрительных залов // *Строительство и архитектура*. 2021. Т. 9. № 1. С. 11–15. <https://doi.org/10.29039/2308-0191-2021-9-1-11-15>. EDN: TCTTTU.
19. Chuykin S.V. Problems of developing methods of designing microclimate systems for premises with artificial // *Russian Journal of Building Construction and Architecture*. 2022. Vol. 56. Iss. 4. P. 18–28. <https://doi.org/10.36622/VSTU.2022.56.4.002>. EDN: QJMDOJ.

REFERENCES

1. Denisikhina D.M. Research of different air distribution schemes in ice rink arena. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo = News of higher educational institutions. Construction*. 2015;5:38-48. (In Russ.). EDN: UBLRPF.
2. Rusakov S.V. The choice of the scheme of air distribution from ventilation and air-conditioning systems in the hall of the small indoor ice rink. *Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya: Kholodil'naya tekhnika i konditsionirovanie = Scientific Journal of ITMO Research Institute. Series: Refrigeration and air conditioning*. 2017;2:26-34. (In Russ.). EDN: QLHSRZ.
3. Melkumov V.N., Chuykin S.V. Organization of air distribution of covered multipurpose ice rinks. *Scientific herald of the Voronezh state university of architecture and civil engineering. Construction and architecture*. 2013;3(19):17-28. EDN: QLHSRZ.
4. Melkumov V.N., Chuiyin S.V. A scheme and method of calculation for ventilation and air conditioning systems of ice arenas. *Journal of technology*. 2017;32(2):139-146.
5. Chuykin S.V. Improvement of the methodology for calculating humidity air parameters in the design of air conditioning systems for rooms with artificial ice. *Inzhenerno-stroitel'nyi vestnik Prikaspiya*. 2023;1:65-72. (In Russ.).
6. Demokritou Ph., Chen Q., Yang Ch., Spengler J. The impact of ventilation on air quality in indoor ice skating arenas. *Proceedings of healthy buildings*. 2000;2:407-412.
7. Ice Rinks. *Ashrae Refrigeration Handbook*. 1994. Ch. 33. p. 33.1-33.9.
8. Yang Ch., Demokritou Ph., Chen Q., Spengler J. Ventilation and air quality in indoor ice skating arenas.

Ashrae Transactions. 2000;106:4405-4414.

9. Kokorin O.Ya., Tovaras N.V. Engineering systems of rooms with artificial ice and snow. Moscow: Kurs; 2014. 240 p. (In Russ.).

10. Pukhal V.A., Yustus D.A. Air distribution in spectator ice arenas. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy = Construction of unique buildings and structures*. 2015;12:7-31. (In Russ.). EDN: VJPKGD.

11. Pankratov V.V., Shilkin N.V. Features of the climate control of ice arenas. *AVOK: ventilyatsiya, otoplenie, konditsionirovanie vozdukh, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika = ABOK: Engineers for heating, ventilation, airconditioning, heat supply & building thermal physics*. 2009;8:24-36. (In Russ.).

12. Soshin R.O., Tkachenko N.V. Problems of microclimate provision in ice arenas. In: *Novye idei novogo века: materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferencii Fakul'teta arkhitektury i dizaina Tikhookeanskogo gosudarstvennogo universiteta = New ideas of new century: materials of the international scientific conference Faculty of architecture and design of Pacific state university*. 2016. Vol. 3. p. 348-353. (In Russ.). EDN: VSVDTH.

13. Rusakov S.V. To calculation of thermal and moist loadings ice skating rinks loading from radiant heat transfer. *Nauchnyy zhurnal natsional'nogo issledovatel'skogo universiteta informatsionnykh tekhnologii, mekhaniki i optiki. Seriya: Holodil'naya tekhnika i konditsionirovanie = Scientific Journal of National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics. Series: Refrigeration and air conditioning*. 2014;1:10. (In Russ.). EDN: TOBGVX.

14. Rusakov S.V. Evaluation of the effect of humidity on the quality of the microclimate in the ice rink and on the condition of the ice surface. *Nauchnyy zhurnal natsional'nogo issledovatel'skogo universiteta informatsionnykh tekhnologii, mekhaniki i optiki. Seriya: Holodil'naya tekhnika i konditsionirovanie = Scientific Journal of National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics. Series: Refrigeration and air conditioning*. 2015;2:92-101. (In Russ.). EDN: TXNEHN.

15. Kokorin O.Ya., Tovaras N.V., Inkov A.P. Energy-saving air conditioning systems of the ice field zone of artificial skating-rink premises. *Kholodil'naya tekhnika*. 2009;4:4-7. (In Russ.). EDN: KUVANF.

16. Kokorin O.Ya., Tovaras N.V., Inkov A.P. Energy-saving air conditioning systems in the sports and public buildings, being erected for olympic games "Sochi-2014". *Kholodil'naya tekhnika*. 2008;2:14-22. (In Russ.). EDN: JTCUWH.

17. Kokorin O.Ya., Tovaras N.V., Inkov A.P. Indoor air conditioning systems for artificial ice rinks using dehumidifiers. *Kholodil'naya tekhnika*. 2006;11:18-22. (In Russ.). EDN: KXBMXZ.

18. Abramkina D.V., Petrov G.A. Features of ventilation systems in auditorium. *Stroitel'stvo i arkhitektura = Construction and architecture*. 2021;9(1):11-15. (In Russ.). <https://doi.org/10.29039/2308-0191-2021-9-1-11-15>. EDN: TCTTTU.

19. Chuykin S.V. Problems of developing methods of designing microclimate systems for premises with artificial. *Russian Journal of Building Construction and Architecture*. 2022;56(4):18-28. <https://doi.org/10.36622/VSTU.2022.56.4.002>. EDN: QJMDQJ.

Информация об авторах

Чуйкин Сергей Владимирович,

к.т.н., доцент,
доцент кафедры строительной механики,
Воронежский государственный технический университет,
394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84,
Россия,
✉e-mail: s.v.chuykin_sm@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6040-323X>
Author ID: 637600

Куцыгина Ольга Александровна,

д.т.н., доцент,
профессор кафедры теплогазоснабжения
и нефтегазового дела,
Воронежский государственный технический университет,
394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84,
Россия,
e-mail: olga.kutsigina@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2296-3583>
Author ID: 363047

Information about the authors

Sergey V. Chuykin,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Associate Professor of Structural
Mechanics Department,
Voronezh State Technical University,
20 letiya Oktyabrya, 84 St., Voronezh 394006,
Russia,
✉e-mail: s.v.chuykin_sm@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6040-323X>
Author ID: 637600

Olga A. Kutsygina,

Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Professor of Heat and Gas Supply and Oil
and Gas Business Department,
Voronezh State Technical
University,
20 letiya Oktyabrya, 84 St., Voronezh 394006,
Russia,
e-mail: olga.kutsigina@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2296-3583>
Author ID: 363047

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 19.01.2024.
Одобрена после рецензирования 26.01.2024.
Принята к публикации 29.01.2024.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Conflict of interests

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

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

Information about the article

The article was submitted 19.01.2024.
Approved after reviewing 26.01.2024.
Accepted for publication 29.01.2024.



Расчет безнапорных систем канализации с учетом неравномерности поступления сточных вод от абонентов

В.Р. Чупин^{1✉}, М.В. Мороз²

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

Аннотация. Системы водоотведения рассчитываются из условия их работы в режиме установившегося равномерного движения сточных вод. Однако такой режим возможен в том случае, когда поступающие от абонентов сточные воды в течении суток будут иметь постоянный расход. Это возможно, если каждый абонент будет иметь регулируемую емкость, обеспечивающую средний расход. Но, к сожалению, таких емкостей нигде не предусмотрено и, очевидно, это будет очень дорого. Поэтому поступающие в систему водоотведения сточные воды, имеющие неравномерный характер, вызывают неравномерный режим их движения по трубопроводам и самотечным коллекторам. В работе предлагается моделировать такие режимы на основе метода частиц. В основе метода частиц лежит графическое решение уравнения неразрывности потока (сохранения материи) и уравнения сохранения импульса (движения). Численные эксперименты, проведенные на основе метода частиц, показали, что расход, скорость и глубина изменяются по мере движения сточных вод и имеют волновой характер. Знание таких режимов важно для эффективной организации эксплуатации самотечных коллекторов, приемных резервуаров насосных станций и очистных сооружений. На основе предлагаемых моделей можно исследовать перенос взвешенных веществ и изменение биохимического состава сточных вод, а также рассчитывать аккумулирующую способность самотечных коллекторов.

Ключевые слова: неравномерное движение сточных вод в самотечных коллекторах, расчет и моделирование изменения расхода, скорости и глубины, метод частиц

Для цитирования: Чупин В.Р., Мороз М.В. Расчет безнапорных систем канализации с учетом неравномерности поступления сточных вод от абонентов // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 1. С. 133–148. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-1-133-148>. EDN: OUJSQO.

Original article

Calculation for non-pressure sewage systems taking into account the irregularity of wastewater inflow from subscribers

Victor R. Chupin^{1✉}, Maria V. Moroz²

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

Abstract. Sewerage systems are calculated according to the conditions of their operation in the mode of steady uniform wastewater flow. However, this mode is only likely to occur when the wastewater received from subscribers has a constant flow rate during the day. This, in turn, is possible if each subscriber has a regulating tank that ensures an average flow rate. Unfortunately, the established standards do not provide for such containers and, obviously, they are very expensive. Therefore, the wastewater nonuniformly enters the sewerage and nonuniformly flows through pipelines and gravity sewers. The presented work aims to model such modes of flow motion based on the particle method. The particle method is based on a graphical solution of the continuity equation (matter conservation) and the momentum conservation equation (motion). Numerical experiments performed using the particle method showed that flow rate, speed, and depth vary as wastewater moves, and they have a wave character. Knowledge of such modes is important to effectively organize the operation of gravity sew-

ers, receiver tanks of pumping stations and treatment plants. Based on the proposed models, one can study the transfer of suspended solids and changes in the biochemical composition of wastewater. Moreover, the models can be used to calculate the storage capacity of gravity sewers.

Keywords: uneven movement of wastewater in gravity collectors, calculation and modeling of flow rate, velocity and depth changes, particle method

For citation: Chupin V.R., Moroz M.V. Calculation for non-pressure sewage systems taking into account the irregularity of wastewater inflow from subscribers. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'* = *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(1): 133-148. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-1-133-148> EDN: OUJSQO.

ВВЕДЕНИЕ

В СП 32.13330.2018¹ рекомендуется определять расчетные максимальные и минимальные расходы сточных вод по результатам инструментальных измерений либо в результате компьютерного моделирования систем водоотведения, учитывающих графики притока сточных вод от зданий, жилых массивов, промышленных предприятий, протяженность и конфигурацию сетей, наличие насосных станций и другие факторы.

Что касается фактического потребления и отведения сточных вод, то такая статистика накапливается в каждом населенном пункте и городе, и ее можно использовать при расчете существующих сетей и сооружений канализации, а также для решения задач их развития и реконструкции.

В г. Иркутске, с населением в 630 тыс. чел., имеются два очистных канализационных сооружений (КОС).

В отношении р. Ангара – это правобережные и левобережные. Для правобережным КОС гистограмма поступления сточных вод от населения в количестве 194 тыс. чел. представлена в табл. 1, а на рис.1 показан наиболее вероятный график поступления сточных вод.

При этом средний расход составляет 0,36 м³/с., коэффициенты неравномерности, соответственно, равны: $K_{max} = 1,25$, $K_{min} = 0,58$, и они отличаются от предлагаемых в СП 32.13330.2018¹ значений.

Таблица 1. Гистограмма поступления сточных вод на правобережные канализационные очистные сооружения г. Иркутска
Table 1. Histogram of wastewater inflow to the right-bank WWTP of Irkutsk

М³/С	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0,48	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	15	13	12	12	1	2	1	2	1	–	–	2	–	–
0,45	–	–	–	–	–	–	–	–	–	6	51	57	54	62	6	8	8	7	8	–	–	9	–	–
0,44	–	–	–	–	–	–	–	–	–	12	14	12	12	12	18	11	10	13	16	2	1	10	2	1
0,42	–	–	–	–	–	–	–	–	1	61	9	8	9	6	51	58	62	56	50	8	7	58	9	8
0,40	–	–	–	–	–	–	–	–	7	13	1	1	2	1	17	11	10	13	16	10	11	10	11	15
0,38	–	–	–	–	–	–	–	1	14	6	–	–	–	–	6	8	8	7	8	61	62	9	55	51
0,36	1	–	–	–	–	–	–	9	56	1	–	–	–	–	1	2	1	2	1	9	11	2	11	16
0,34	3	–	–	–	–	–	–	16	14	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	8	7	–	9	8
0,32	5	–	–	–	–	–	–	47	7	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2	1	–	2	1
0,30	14	1	–	–	–	2	1	17	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
0,28	56	6	1	1	2	8	6	9	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
0,26	14	8	9	6	9	16	10	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
0,24	5	11	18	17	20	48	66	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
0,22	3	48	44	52	39	16	10	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
0,20	1	11	18	17	19	8	6	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
0,18	–	8	9	6	9	2	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
0,16	–	6	1	1	2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

¹СП 32.13330.2018. Канализация. Наружные сети и сооружения. М.: Стандартинформ, 2018. 70 с.

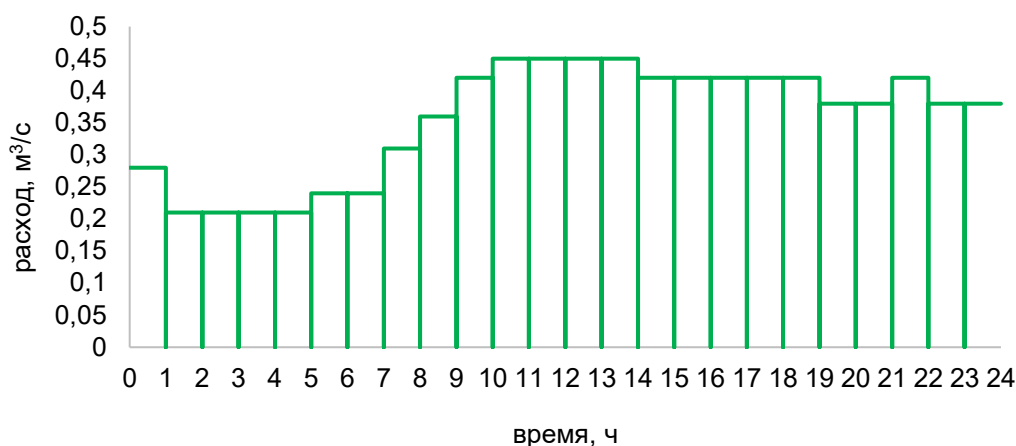


Рис. 1. Наиболее вероятный график поступления сточных вод на правобережные канализационные очистные сооружения г. Иркутска
Fig. 1. The most likely schedule for the flow of wastewater to the right-bank sewage treatment plants of Irkutsk

Такие показатели указывают на то, что даже на магистральных коллекторах водоотведения наблюдается значительная неравномерность движения сточных вод. И для обоснования параметров приемных резервуаров КОС, а также для оценки аккумулирующей способности самотечных коллекторов требуется рассчитывать их с учетом неравномерности поступления сточных вод как в систему водоотведения, так и при транспортировке ее по трубопроводам и коллекторам.

Из гидравлики и гидромеханики известно, что в случае изменения давления в источнике или изменения напора на насосной станции, открытия или закрытия водоразборной арматуры в напорных трубопроводных системах изменение расхода транспортируемой жидкости в любом из сечений происходит практически мгновенно (со скоростью звука в воде). В безнапорных трубопроводных системах расход изменяется за время движения стоков от узла сброса до исследуемого сечения или от начального узла до конечного узла расчетного участка сети. Для протяженных коллекторов это время может быть значительным, а в условиях больших городов может исчисляться часами. Для ливневой канализации время формирования поверхностного водостока и его движение по лоткам и коллекторам является определяющим при обосновании параметров и мощности транспортирующих сооружений.

Очевидно, что разные объемы сточных вод, поступающие в коллекторы круглого сечения в различные временные интервалы, будут перемещаться с различными скоростями

и будут наталкиваться друг на друга, деформировать друг друга и формировать волновой характер движения сточной жидкости.

В теории расчета систем водоснабжения и водоотведения принято неравномерные значения поступления стоков или потребления воды моделировать ступенчатым графиком, в котором, например, часовые расходы принимают средние постоянные значения. Поэтому можно принять, что некоторые порции стоков неизменны во времени и перемещаются независимо друг от друга. Следовательно, значения расходов сточных вод в конце расчетного участка или через определенный интервал времени можно определить через время протекания каждой такой порции. Время протекания вычисляется как длина участка, деленная на скорость.

При определении параметров безнапорного коллектора используются формулы для расчета расхода и скорости движения сточных вод при равномерном установившемся движении сточных вод, в основе которых лежит определение расхода стоков при их транспортировании полным сечением. Величина этого расхода определяется из формулы Антуана Шези² [1]:

$$q_i = \omega \cdot c \cdot \sqrt{R \cdot i}, \quad (1)$$

где ω – площадь живого сечения, м², равная

для полного сечения $\frac{\pi \cdot d^2}{4}$; c – коэффициент Шези, который определяется как

$$c = \frac{R^y}{n};$$

$$y = 2,5 \cdot \sqrt{R} - 0,13 - 0,75 \cdot \sqrt{R} \cdot (\sqrt{n} - 0,1),$$

²Штеренлихт Д.В. Гидравлика. М.: Энергоатомиздат, 1984. 640 с.

или приближенно $y = 1/6$,
 здесь R – гидравлический радиус, равный ω/χ ,
 где χ – смоченный периметр. Для полного сечения $R = d/4$, следовательно, расход для полного сечения будет равен

$$q_n = \frac{0,314}{n} \cdot d^{2,667} \cdot i^{0,5}, \quad (2)$$

где d, i – диаметр и уклон участка сети.

Для транспортировки сточных вод неполным сечением скорость движения потока вычисляется из формулы

$$v = c \cdot \sqrt{R \cdot i} = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot i^{1/2}. \quad (3)$$

Гидравлический радиус определяется по формуле³

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{d(\alpha - \sin \alpha)}{4\alpha}, \quad (4)$$

где $\alpha = 2 \arccos(1 - 2k)$,

где $k = \frac{\frac{q}{q_n} + 0,22}{1,34}$.

Пример.

Дано: $q = 2 \text{ м}^3/\text{с}$; $n = 0,015$; $d = 2 \text{ м}$; $i = 0,001$.

Найти: k, v, h .

Решение:

$$q_n = \frac{0,314}{0,015} \cdot 2^{2,667} \cdot 0,001^{0,5} = 4,2 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$k = \frac{\frac{2}{4,2} + 0,22}{1,34} = 0,519;$$

$$h = k \cdot d = 0,519 \cdot 2 = 1,04 \text{ м};$$

$$\alpha = 2 \arccos(1 - 2 \cdot 0,519) = 3,217 \text{ (рад)};$$

$$R = \frac{2(3,217 - \sin 3,217)}{4 \cdot 3,217} = 0,512;$$

$$v = \frac{1}{0,015} \cdot 0,512^{2/3} \cdot 0,001^{1/2} = 1,35 \text{ м/с};$$

$$\omega = q_i / v = 2 / 1,35 = 1,48 \text{ м}^2.$$

Основываясь на (1)–(4), нетрудно рассчитать скорость движения каждой частицы, время, за которое она переместится на расстояние четного участка или до контролируемого створа.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для моделирования неравномерности поступления сточной жидкости в коллектор и ее перемещения в зависимости от времени и длины предлагается использовать «метод частиц», который в нашей стране развивается под руководством профессора С.В. Богомолва [2–8], а также другими авторами, применяющих этот метод в различных сферах деятельности [9–27]. Этот метод уже давно применяется при моделировании волновых процессов в неглубоких каналах при различного рода возмущениях. Например, прикрытие или открытие затворов шлюзовых камер и заполнение их водой, при прорыве платин и дамб, и т.д. В основе этого метода лежит графическое решение уравнения неразрывности потока (сохранения материи) и уравнения сохранения импульса (движения). Поскольку функция потока, входящего в канал или трубопровод, не всегда является гладкой (и даже имеет разрывы), целесообразно ее представлять в виде аппроксимирующего графика, состоящего из прямоугольников. При этом каждый прямоугольник является неделимой частицей и обладает определенной массой и скоростью движения. В начальный момент все частицы соприкасаются друг с другом, образуя единое целое. Затем, по мере движения частиц за счет сил гравитации, они либо разлетаются, либо наползают друг на друга.

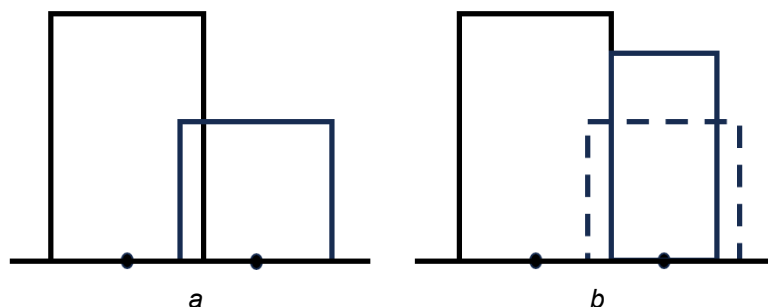


Рис. 2. При столкновении частиц (а) будет перестраиваться частица с меньшим расходом относительно своего центра массы (б)

Fig. 2. When particles collide (a), the particle will rearrange with less flow relative to its center of mass (b)

³Алексеев М.И., Кармазинов Ф.В., Курганов А.М. Гидравлический расчет сетей водоотведения: справ. пособие. Л.: СПИСУ, 1997. 128 с.

Это приводит к нарушению принципа неразрывности потока, т.е. уменьшается суммарная площадь прямоугольников, моделирующую объемы переносимой массы вещества (в нашем случае, расхода сточной жидкости). Для восстановления этой площади в методе частиц применяется процедура их перестройки по схеме, показанной на рис. 2–7. Перестройка осуществляется относительно центров частиц, которые на рисунках показаны жирными точками. На рис. 8 и 9 представлены этапы переформирования трех частиц для

случаев, когда скорость частиц уменьшается, и для случая, когда их скорость возрастает, т.е. расход первой частицы больше, чем второй и третьей, и наоборот. Как видно на рис. 8, с, в результате движения частиц с уменьшающимися скоростями происходит их наползание друг на друга. Если в результате сжатия частиц после их перестройки ширина какой-либо из частиц будет незначительной, например, превратится в вертикальную линию, то она должна слиться с частицей, приведшей к такой деформации.

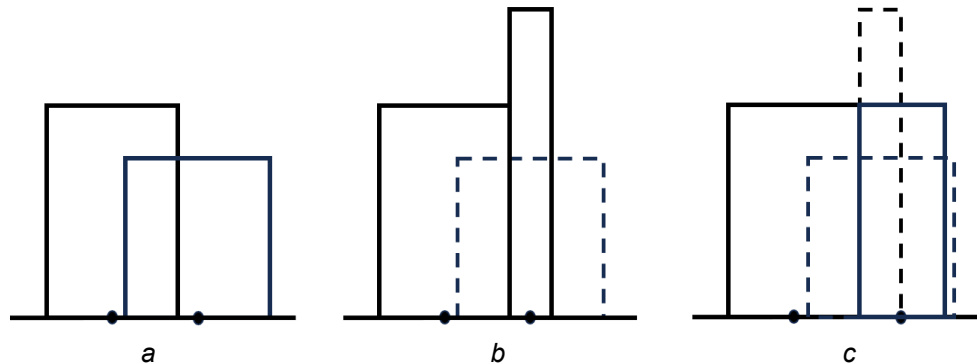


Рис. 3. При столкновении частиц (а) будет перестраиваться частица с меньшим расходом (b) с условием, что перестроенная частица не должна превышать высоту высокой частицы (с)

Fig. 3. When particles collide (a), a particle with a lower flow rate will be rearranged (b) with the condition that the rearranged particle should not exceed the height of the tall particle (c)

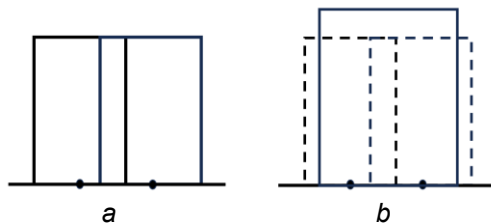


Рис. 4. При столкновении частиц с одинаковым расходом (а) будут перестраиваться обе частицы относительно своих центров масс (b)

Fig. 4. When particles collide with the same flow rate (a), both particles will rearrange relative to their centers of mass (b)

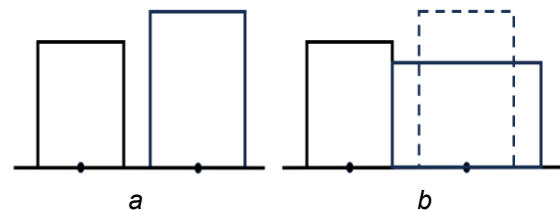


Рис. 5. При разлете частиц (а) перестраиваться будет частица с большим расходом (b)

Fig. 5. When particles fly apart, a particle (a) with a higher height will rearrange (b)

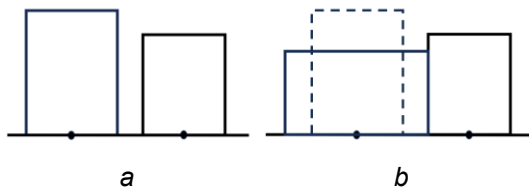


Рис. 6. При разлете частиц (а) перестраиваться будет частица с большим расходом (b)

Fig. 6. When particles fly apart, a particle (a) with a higher height will rearrange (b)

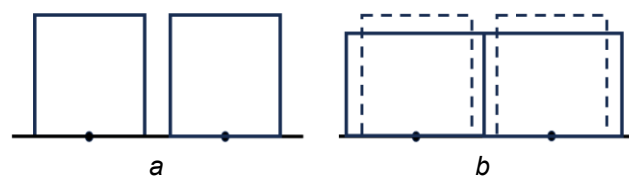


Рис. 7. При разлете частиц с одинаковым расходом (а) перестраиваться будут обе частицы относительно своих центров масс (b)

Fig. 7. When particles fly apart with the same height (a), both particles will rearrange (b)

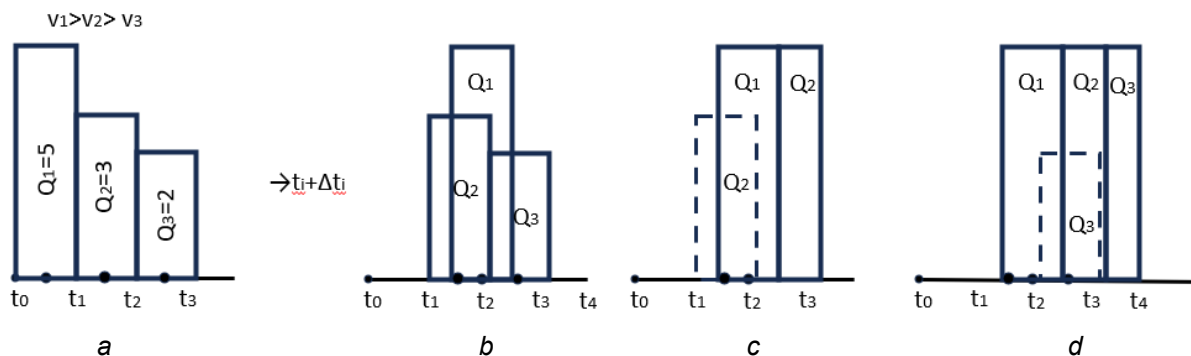


Рис. 8. Иллюстрация перестройки трех частиц (а) при уменьшающемся графике поступления сточных вод в самотечный коллектор (b–d)
Fig. 8. Illustration of the restructuring of three particles (a) with a decreasing schedule for the flow of wastewater into a gravity collector (b–d)

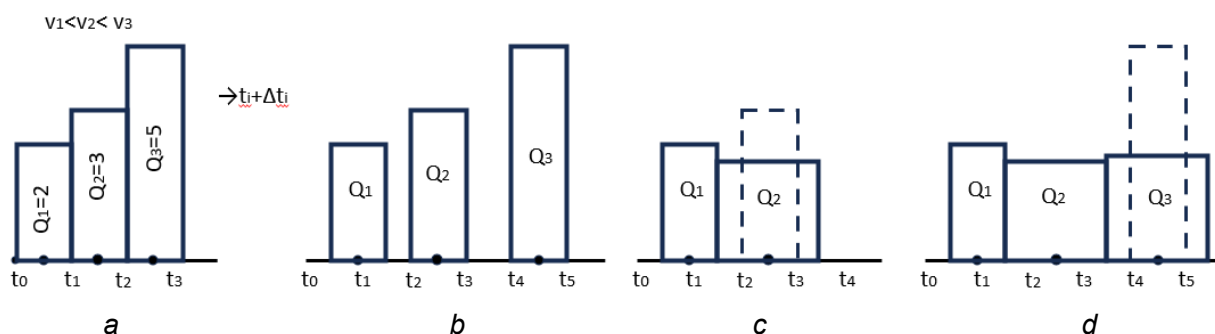


Рис. 9. Иллюстрация перестройки трех частиц (а) при возрастающем графике поступления сточных вод в самотечный коллектор (b–d)
Fig. 9. Illustration of the restructuring of three particles (a) with an increasing schedule of wastewater inflow into a gravity collector (b–d)

Если в результате разлета частиц и после их перестройки окажется, что одна из частиц будет оторвана от других, то пустоту между частицами необходимо заполнить новой частицей с расходом, изъятый у частицы с большим значением расхода.

Если рассматривается график поступления сточных вод от абонентов в безнапорную систему водоотведения (см., например, рис. 1), то таких частиц будет не менее 24. За счет взаимного влияния процесс их перестройки будет более сложным и потребует итеративного процесса коррекции.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В качестве иллюстрации работы метода частиц рассмотрим безнапорную систему водоотведения (рис. 10), состоящую из 8 самотечных коллекторов одинаковой протяженности и восьми абонентов, сточные воды от ко-

торых поступают согласно графику, представленному на рис. 1.

Рассмотрим коллектор 7-6, начальный график движения сточных вод для которого будет соответствовать значениям, представленным на рис. 1. Пусть каждая частица начального графика переместилась на расстояние в 4 км со скоростью, вычисленной согласно формулам (1)–(3). В итоге получим график, представленный на рис. 11.

На этом графике (рис. 11) вторая, третья и двадцатая частицы разлетятся, а шестая, седьмая, восьмая – наплзут друг на друга. Для восстановления принципа неразрывности потока осуществим перестройки частиц согласно положениям, представленным на рис. 2–7.

В итоге получим график движения сточных вод, представленный на рис. 12.

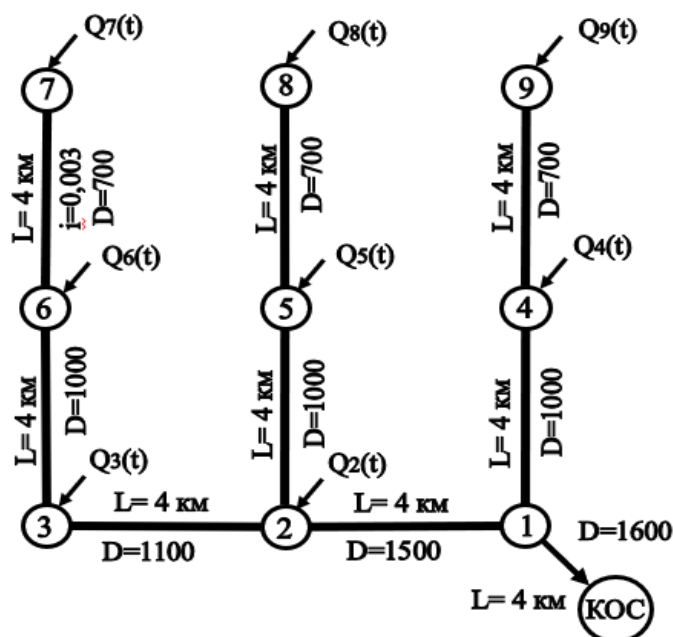


Рис. 10. Безнапорная система водоотведения
Fig. 10. Gravity drainage system

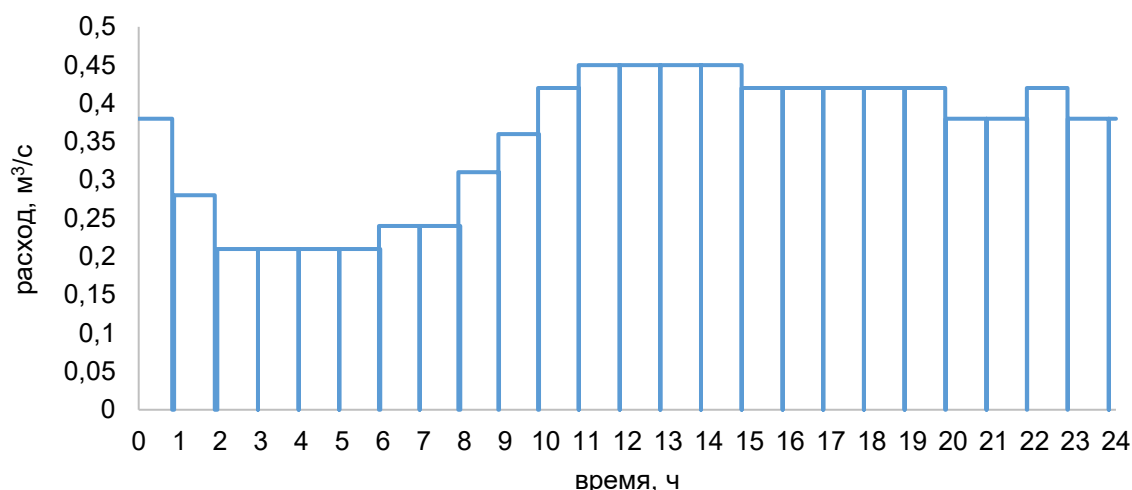


Рис. 11. График движения сточных вод в конце коллектора 7-6
Fig. 11. Graph of wastewater movement at the end of the collector 7-6

Рассмотрим коллектор 6-3, для которого график движения сточных вод в начале участка будет соответствовать рис. 12, плюс график поступления сточных вод от абонента в узел 6 (см. график на рис. 1).

В итоге график движения сточных вод в начале участка 6-3 будет соответствовать рис. 13. С учетом времени перемещения частиц график движения сточных вод в конце коллектора 6-3 будет соответствовать рис. 14, а после его перестройки – рис. 15.

По аналогии определим график движения сточных вод в начале участка 3-2 и вычислим

график движения сточных вод в конце участка 3-2 (см. рис. 16). Такие же вычисления произведем и для участка 1-2 (см. рис. 17).

Для стоков, поступающих на КОС, график будет соответствовать рис. 18. На рис. 19 представлены ступенчатые графики для случаев, если бы не учитывалось время движения сточных вод (зеленый цвет), и с учетом их движения и перестройки (красный цвет).

На рис. 20–24 показаны подобные сопоставления уже для сглаженных графиков (средних по каждому часу значений), начиная с участка 7-6.

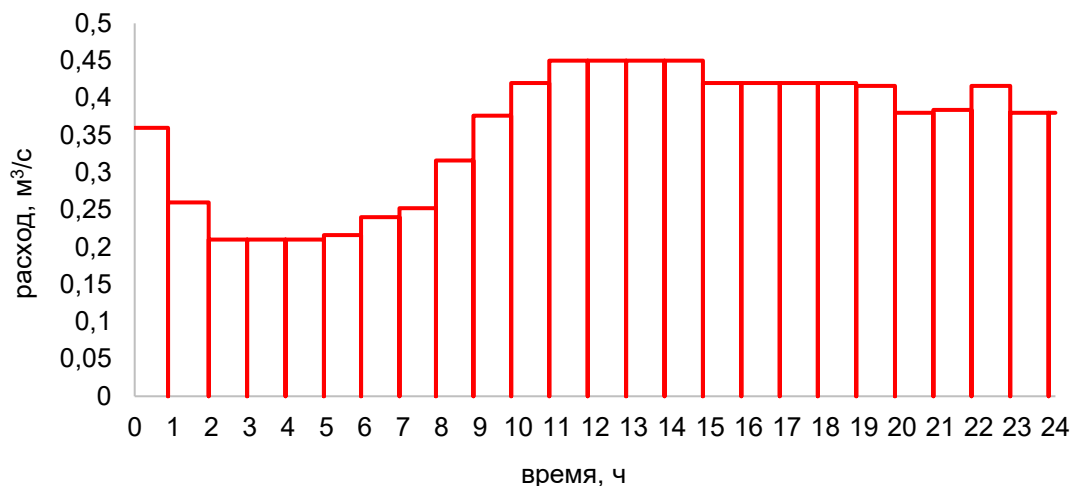


Рис. 12. Перестроенный график движения сточных вод в конце коллектора 7-6
Fig. 12. Rebuilt graph of wastewater movement at the end of the collector 7-6

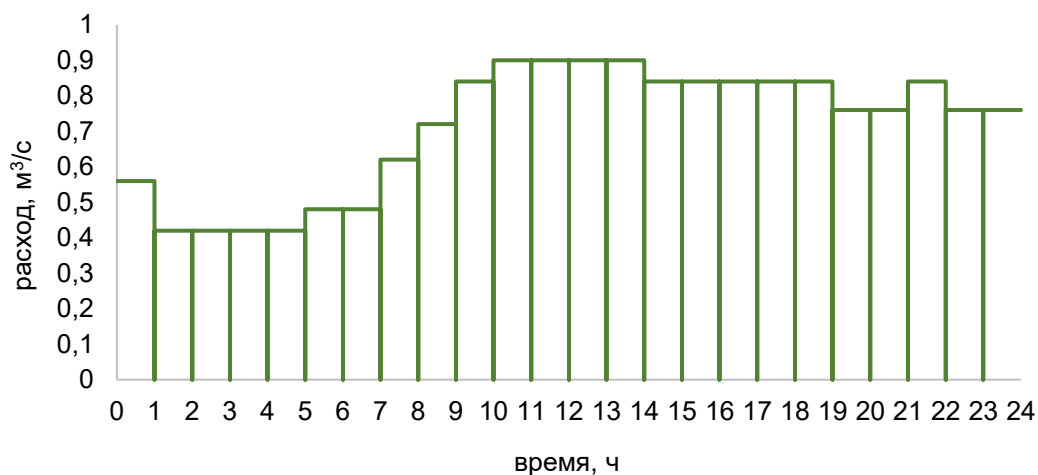


Рис. 13. График движения сточных вод в начале коллектора 6-3
Fig. 13. Graph of wastewater movement at the beginning of the collector 6-3

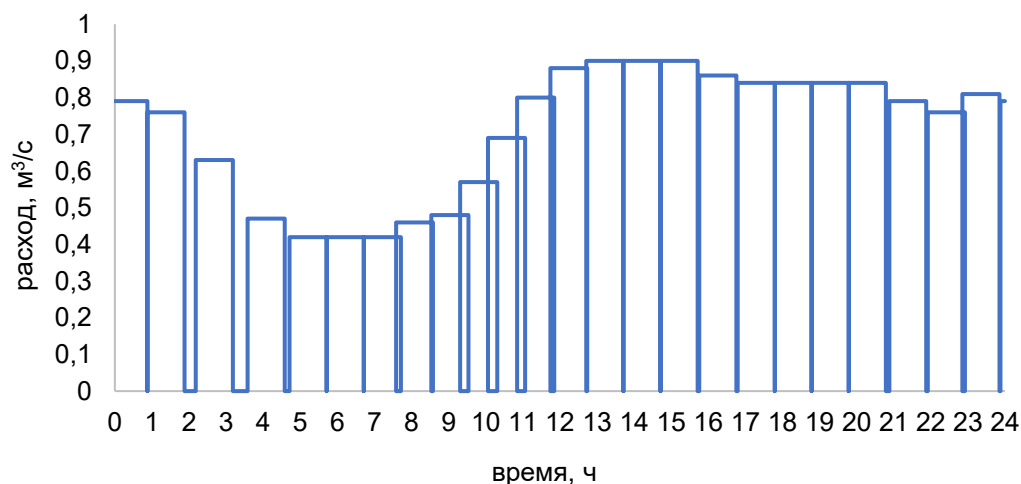


Рис. 14. График движения сточных вод в конце коллектора 6-3
Fig. 14. Sewage flow diagram at the end of the collector 6-3

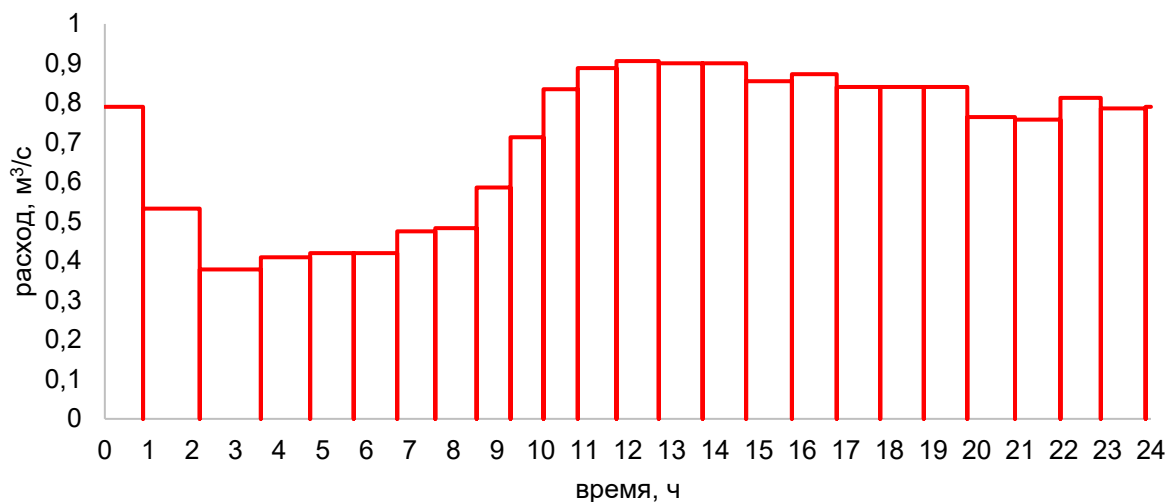


Рис. 15. Перестроенный график движения сточных вод в конце коллектора 6-3
Fig. 15. Rebuilt graph of wastewater movement at the end of the collector 6-3

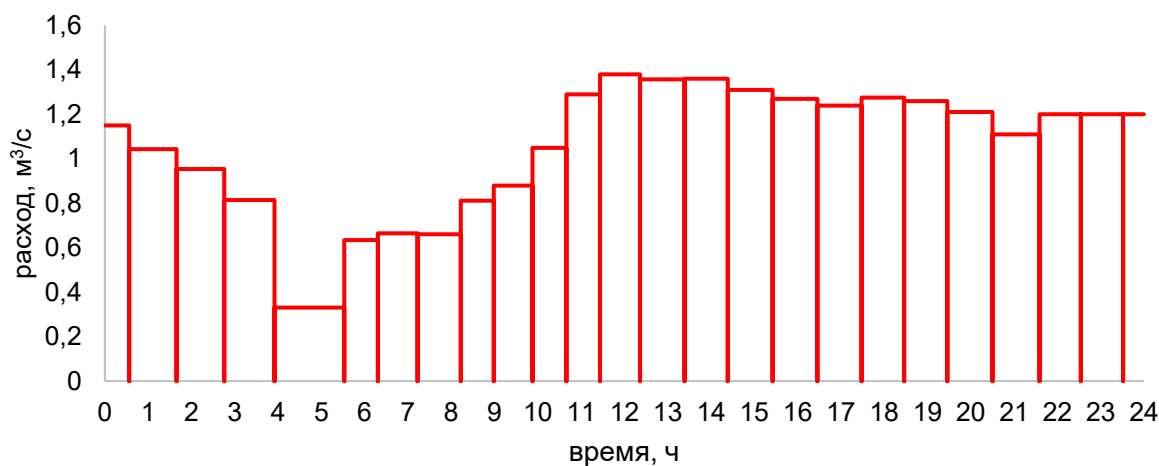


Рис. 16. Перестроенный график движения сточных вод в конце коллектора 3-2
Fig. 16. Rebuilt graph of wastewater movement at the end of the collector 3-2

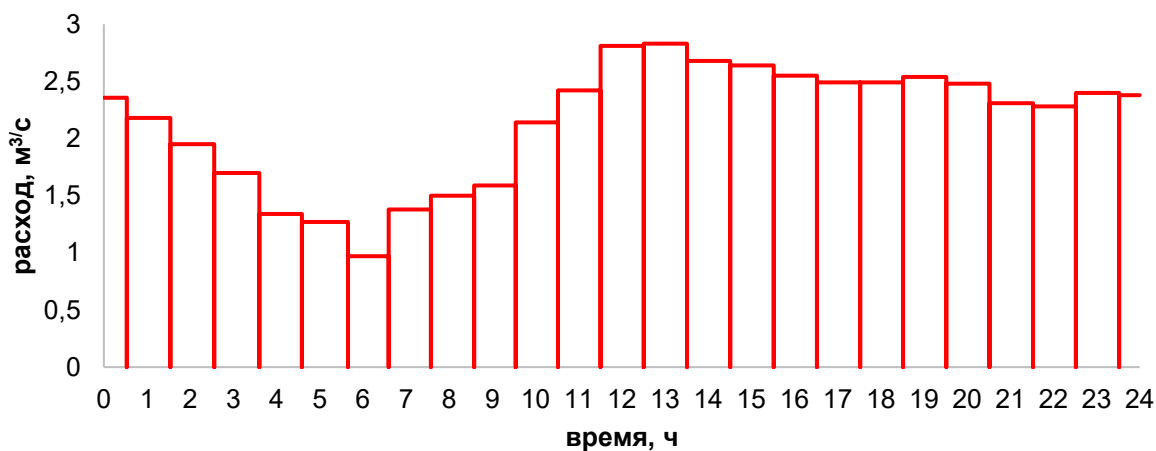


Рис. 17. Перестроенный график движения сточных вод в конце коллектора 2-1
Fig. 17. Rebuilt graph of wastewater movement at the end of collector 2-1

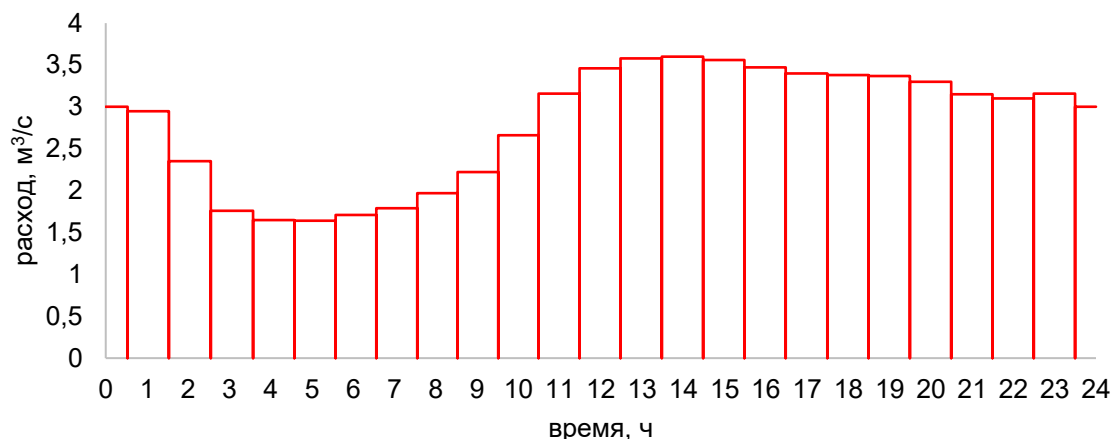


Рис. 18. Перестроенный график движения сточных вод в конце 1-КОС
Fig. 18. Rebuilt graph of wastewater movement at the end of the 1-STP collector

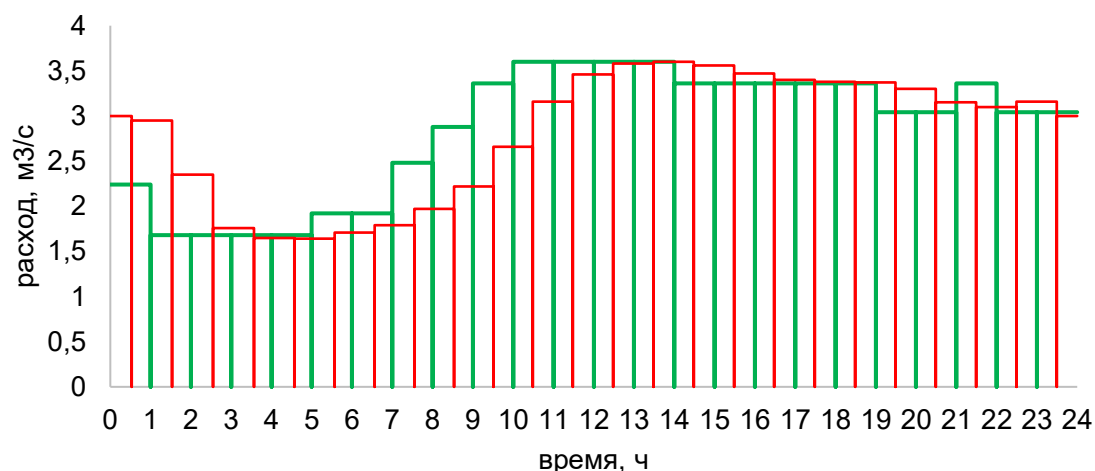


Рис. 19. Сопоставление перестроенного графика движения сточных вод в конце коллектора 1-КОС (красный цвет) с суммарным графиком поступления сточных вод от всех абонентов в систему водоотведения (зеленым цветом), т.е. без учета времени добегания.

Fig. 19. Comparison of the rebuilt schedule for the movement of wastewater at the end of the 1-STP collector (red) with the total schedule for the flow of wastewater from all subscribers into the drainage system (green), i.e. excluding travel time

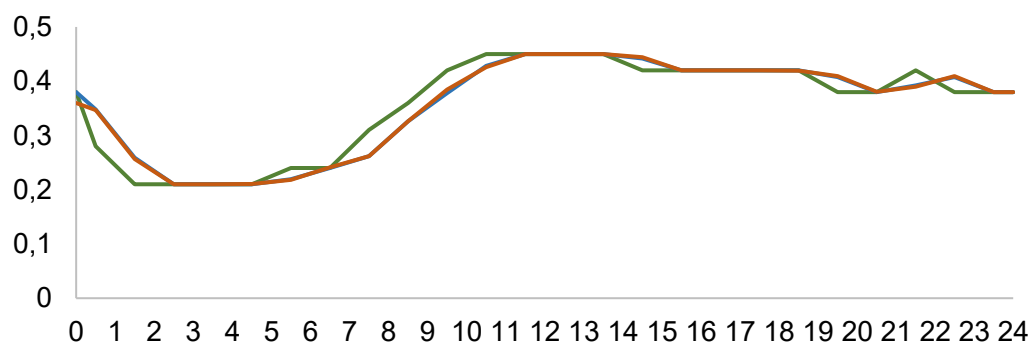


Рис. 20. Сопоставление перестроенного графика движения сточных вод в конце коллектора 7-6 (красным цветом) с графиком поступления сточных вод в узел 7 (зеленым цветом)

Fig. 20. Comparison of the rebuilt schedule of wastewater movement at the end of collector 7-6 (red) with the schedule for the flow of wastewater into node 7 (green)

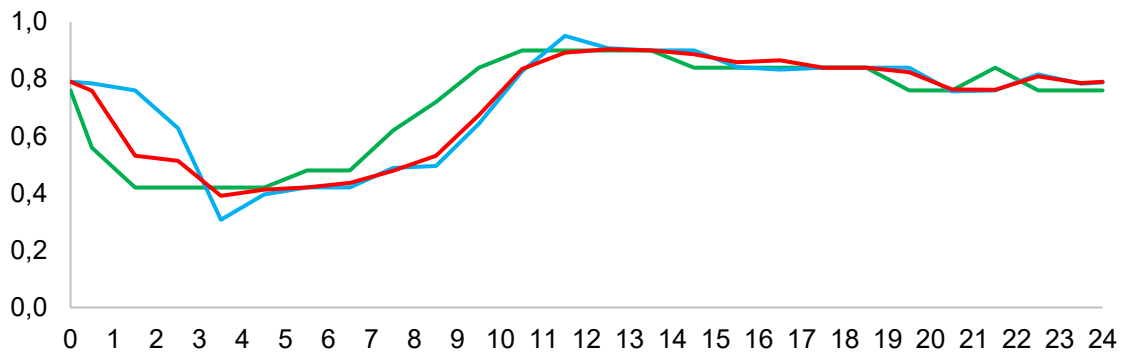


Рис. 21. Сопоставление перестроенного графика движения сточных вод в конце коллектора 6-3 (красным цветом) с суммарным графиком поступления сточных вод от узлов 7 и 6 (зеленым цветом), голубой цвет – не перестроенный график добегания
Fig. 21. Comparison of the rebuilt graph of wastewater movement at the end of collector 6-3 (red) with the total graph of wastewater flow from nodes 7 and 6 (green), blue color – not rebuilt graph of reaching

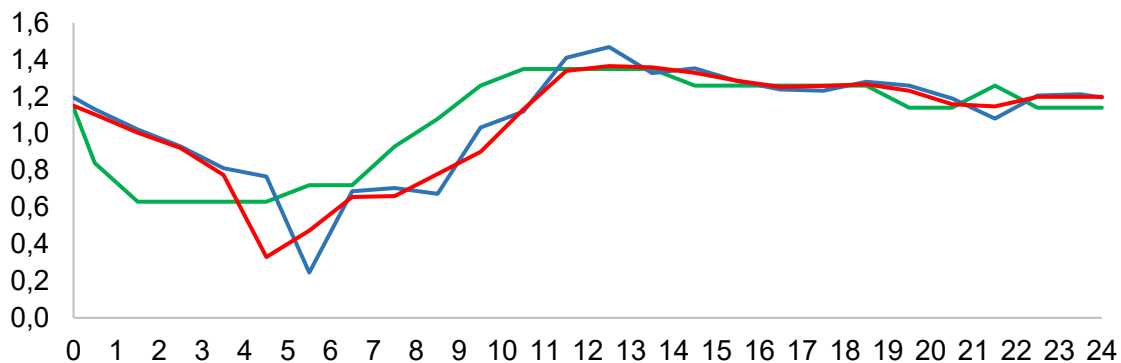


Рис. 22. Сопоставление перестроенного графика движения сточных вод в конце коллектора 3-2 (красный) с суммарным графиком поступления сточных вод от всех абонентов от узлов 7, 6, 3 в систему водоотведения (зеленый), синий цвет – не перестроенный график добегания
Fig. 22. Comparison of the rebuilt schedule of movement of wastewater at the end of collector 3-2 (in red) with the total schedule of wastewater receipt from all subscribers from nodes 7, 6, 3 into the drainage system (in green), blue – not rebuilt schedule of reaching

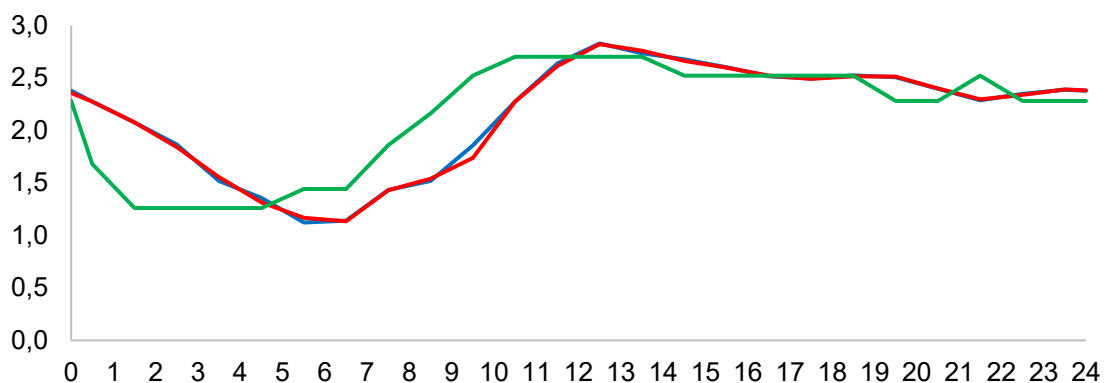


Рис. 23. Сопоставление перестроенного графика движения сточных вод в конце коллектора 2-1 (красный) с суммарным графиком поступления сточных вод от всех абонентов: 7, 6, 3, 8, 5, 2 в систему водоотведения (зеленый)
Fig. 23. Comparison of the rebuilt schedule for the movement of wastewater at the end of collector 2-1 (red) with the total schedule for the flow of wastewater from all subscribers: 7, 6, 3, 8, 5, 2 into the drainage system (green)

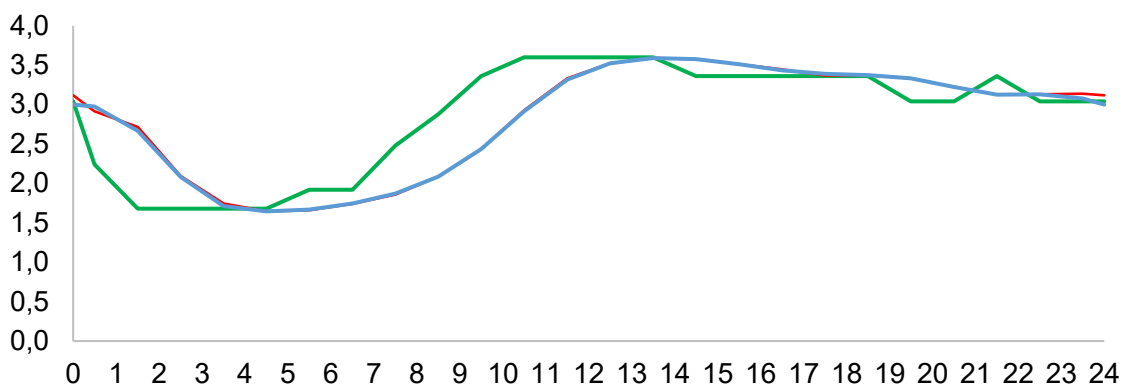


Рис. 24. Сопоставление перестроенного графика движения сточных вод в конце коллектора 1-КОС (синий) с суммарным графиком поступления сточных вод от всех абонентов в систему водоотведения (зеленый)

Fig. 24. Comparison of the rebuilt schedule for the movement of wastewater at the end of the 1-STP collector (blue) with the total schedule for the flow of wastewater from all subscribers into the drainage system (green)

С изменением расхода сточной жидкости по каждому часу будет меняться глубина в самотечном коллекторе. Учитывая время перемещения стоков по каждому часу, расходы в начале и в конце расчетного участка будут различными, следовательно, глубина в начале и в конце участка так же

будет различной. Для коллектора диаметром 1,6 м (участок 1-КОС) эти глубины за сутки будут соответствовать показанным на рис. 25.

Таким образом, по всей длине коллектора будет наблюдаться волновой характер движения сточных вод.

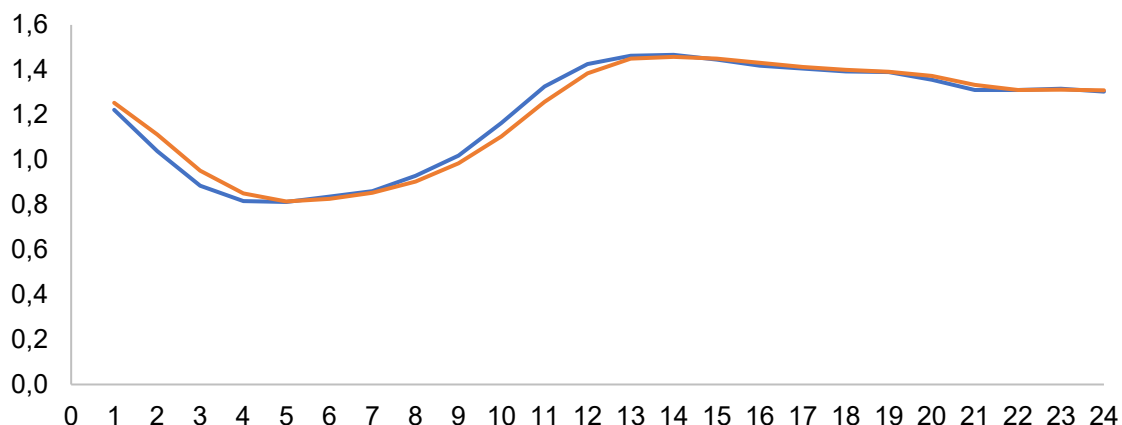


Рис. 25. Сопоставление глубин в коллекторе 1-КОС в начале участка (синий) с глубинами в конце (коричневый)

Fig. 25. Comparison of depths in the 1-KOS reservoir at the beginning of the section (in blue) with depths at the end (in brown)

Для формирования точной картины волнового движения потока расчетный участок сети необходимо разбивать на подучастки либо, как только происходит процесс разделения или сжатия частиц, осуществлять их перестройку. График поступления сточных вод от абонентов можно рассматривать детально, например, по секундам.

ВЫВОДЫ

1. Проведенные численные эксперименты подтверждают, что в самотечных коллекторах

при неравномерном поступлении сточных вод от абонентов наблюдается волновой режим их движения от начальных участков сети водоотведения до конечных. При этом в самотечных трубопроводах, которые проектируются на режим установившегося равномерного движения сточных вод, такого режима не будет наблюдаться, или действия его по времени не будут значительными.

2. Расчеты также подтвердили, что расход в сети за счет трансформации частиц

и различных скоростей их движения будет иметь волновой, но за счет трансформации частиц, затухающий характер, и его максимальные значения не превысят расходы, полученные путем сложения графиков поступления сточных вод в систему водоотведения.

3. Учесть неравномерность поступления сточных вод на уровне проектирования и при обосновании параметров самотечных трубопроводов затруднительно и нет в этом необходимости. Системы водоотведения следует проектировать на установившейся равномерный режим движения сточных вод исходя из прогнозных значений поступления сточных вод от абонентов в систему и, как показали расчеты, фактические наполнения не превысят их допустимые значения.

4. При эксплуатации систем водоотведения, оценки их надежности и пропускной способности, при управлении насосными

станциями и аварийно-регулирующими резервуарами расчеты и моделирование надо производить на основе неравномерных графиков поступления сточных вод и их движения по самотечной сети водоотведения.

5. В условиях автоматизированной системы контроля и учета поступления сточных вод в систему водоотведения можно производить подобные расчеты и прогнозировать время и количество сточных вод, поступающих в приемные резервуары КНС или КОС.

6. На основании данных расчетов можно анализировать изменение скоростей движения сточных вод по длине расчетного участка и прогнозировать процесс отложения осадка и его размыв.

7. В случае закупорки или отключения трубопровода данный расчет позволит определить аккумулирующую способность самотечной сети и рассчитать допустимое время ликвидации аварийной ситуации.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Чупин Р.В. Оптимизация развивающихся систем водоотведения. Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2015. 417 с. EDN: UOATQZ.
2. Богомолов С.В., Замараева А.А., Кузнецов К.В., Карабелли Х. Консервативный метод частиц для квазилинейного уравнения переноса // Журнал вычислительная математика и математической физики. 1998. Т. 38. № 9. С. 1602–1610.
3. Богомолов С.В. Метод частиц. Несжимаемая жидкость // Математическое моделирование. 2003. Т.15. № 1. С. 46–58.
4. Богомолов С.В., Кувшинников А.Е. Разрывный метод частиц на газодинамических примерах // Математическое моделирование. 2019. Т. 31. № 2. С. 63–77. <https://doi.org/10.1134/S0234087919020059>. EDN: MNNTZN.
5. Богомолов С.В. Метод частиц для уравнения Бюргерса // Математическое моделирование. 1991. Т. 3. № 12. С. 115–119.
6. Богомолов С.В., Захаров Е.В., Зеркаль С.В. Моделирование волн на мелкой воде методом частиц // Математическое моделирование. 2002. Т.14. № 3. С.103–116.
7. Bogomolov S.V., Kuvshinnikov A.E. A discontinuous shapeless particle method for the quasi-linear transport // Marchuk Scientific Readings: International Conference (Novosibirsk, 04–08 October 2021). Novosibirsk, 2021. Vol. 2099. P. 012009. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2099/1/012009>. EDN: WPTHVD.
8. Bondarev A.E. On the estimation of the accuracy of numerical solutions in CFD problems // Lecture Notes in Computer Science. 2019. Vol. 11540. P. 325–333. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22750-0_26.
9. Alekseev A., Bondarev A., Galaktionov V., Kuvshinnikov A., Shapiro L. On applying of generalized computational experiment to numerical methods verification // GraphiCon 2020: Proceedings of the 30th International conference on computer graphics and machine vision (Saint Petersburg, 22–25 September 2020). Saint Petersburg, 2020. EDN: KNJJPP.
10. Bondarev A.E. Processing of Visual Results of a Generalized Computational Experiment for the Problem of Supersonic Flow Around a Cone at an Angle of Attack // Scientific Visualization. 2021. Vol. 13. P. 104–116. <https://doi.org/10.26583/sv.13.2.08>.
11. Bondarev A., Kuvshinnikov A. Parametric study of the accuracy of OpenFOAM solvers for the oblique shock wave problem // Ivannikov Ispras Open Conference (ISPRAS-2019). Proceedings-2019 (Moscow, 05–06 December 2019.). Moscow, 2019. P. 106–112. <https://doi.org/10.1109/ISPRAS47671.2019.00023>. EDN: ZQRKUJ.
12. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры: монография. 2-е изд. М.: Физматлит, 2005. 320 с.
13. Хокни Р., Иствуд Дж. Численное моделирование методом частиц. М.: Мир, 1987. 640 с.

14. Oñate E., Idelsohn S.R., Del Pin F., Aubry R. The particle finite element method – an overview // *International Journal of Computational Methods*. 2004. Vol. 01. Iss. 02. P. 267–307. <https://doi.org/10.1142/S0219876204000204>.
15. Harlow F.H. The particle-in-cell computing method for fluid dynamics // *Methods in computational physics*. 1964. Vol. 3. P. 319–343.
16. Белоцерковский О.М., Давыдов Ю.М. Нестационарный метод «крупных частиц» для газодинамических расчетов // *Журнал вычислительной математики и математической физики*. 1971. Vol. 11. Iss. 1. P. 182–207.
17. Ardelyan N.V., Bisnovaty-Kogan G.S., Moiseenko S.G. Simulation of magnetorotational astrophysical processes by implicit operator-difference scheme // *Lobachevskii Journal of Mathematics*. 2017. Vol. 38. № 5. P. 874–879.
18. Idelsohn S., Nigro N., Limache A., Oñate Eu. Large time-step explicit integration method for solving problems with dominant convection // *Computer methods in applied mechanics and engineering*. 2012. Vol. 217–220. P. 168–185. <https://doi.org/10.1016/j.cma.2011.12.008>.
19. Teleaga D., Struckmeier J. A finite-volume particle method for conservation laws on moving domains // *International Journal for Numerical Methods in Fluids*. 2008. T. 58. № 9. C. 945–967. <https://doi.org/10.1002/fld.1778>.
20. Баев А.Ж., Богомолов С.В. Об устойчивости разрывного метода частиц для уравнения переноса // *Математическое моделирование*. 2017. Т. 29. № 9. С. 3–18. EDN: ZFWYWL.
21. Jiang Ch., Schroeder C., Teran J. An angular momentum conserving affine-particle-in-cell method // *Journal of Computational Physics*. 2017. T. 338. C. 137–164. <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2017.02.050>.
22. Fu Ch., Guo Q., Gast Th., Jiang Ch., Teran J. A Polynomial Particle-In-Cell Method // *ACM Transactions on Graphics*. 2017. Vol. 36. Iss. 6. P. 222:1–222:12. <https://doi.org/10.1145/3130800.3130878>.
23. Lucy L.B. A Numerical Approach to the Testing of the Fission Hypothesis // *Astronomical Journal*. 1977. Vol. 82. P. 1013–1024. <https://doi.org/10.1086/112164>.
24. Idelsohn S.R., Oñate E., Del Pin F. The particle finite element method: a powerful tool to solve incompressible flows with free-surfaces and breaking waves // *International Journal for Numerical Methods in Engineering*. 2004. Vol. 61. Iss. 7. P. 964–989. <https://doi.org/10.1002/nme.1096>.
25. Воробьев А.П., Кривенцев В.И., Qian Lin, Xuewu Cao. Моделирование фрагментации в жидких средах методом сглаженных частиц (Smoothed Particle Hydrodynamics) // *Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика*. 2008. № 1. С. 85–94. EDN KBBBOR.
26. Солбаков В.В., Юрезанская Ю.С. Сравнение метода SPH и стохастического метода дискретных частиц при решении уравнений мелкой воды // *Инновации. Наука. Образование*. 2020. № 24. С. 1690–1696. EDN: ICQPAI.

REFERENCES

1. Chupin R.V. Optimization of developing wastewater disposal systems. Irkutsk: Irkutsk national research technical university; 2015. 417 p. (In Russ.). EDN: UOATQZ.
2. Bogomolov C.V., Zamaraeva A.A., Kuznetsov K.V. Karabelli Kh. A conservative particle method for a quasi-linear transport equation. *Zhurnal vychislitel'naya matematika i matematicheskoi fiziki*. 1998;38(9):1602-1610. (In Russ.).
3. Bogomolov S.V. The particle method. Incompressible liquid. *Matematicheskoe modelirovanie*. 2003;15(1):46-58. (In Russ.).
4. Bogomolov S.V., Kuvshinnikov A.E. Discontinuous particles method on gas dynamic examples. *Matematicheskoe modelirovanie*. 2019;31(2):63-77. (In Russ.). <https://doi.org/10.1134/S0234087919020059>. EDN: MNNTZN.
5. Bogomolov S.V. The particle method for the Burgers equation. *Matematicheskoe modelirovanie*. 1991;3(12):115-119. (In Russ.).
6. Bogomolov S.V., Zakharov E.V., Zerkal S.V. Modeling of waves on shallow water by the particle method. *Matematicheskoe modelirovanie*. 2002;14(3):103-116. (In Russ.).
7. Bogomolov S.V., Kuvshinnikov A.E. A discontinuous shapeless particle method for the quasi-linear transport. In: *Marchuk Scientific Readings: International Conference*. 04-08 October 2021, Novosibirsk. Novosibirsk, 2021. Vol. 2099. p. 012009. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2099/1/012009>. EDN: WPTHVD.
8. Bondarev A.E. On the estimation of the accuracy of numerical solutions in CFD problems. *Lecture Notes in Computer Science*. 2019;11540:325-333. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22750-0_26.
9. Alekseev A., Bondarev A., Galaktionov V., Kuvshinnikov A., Shapiro L. On applying of generalized computational experiment to numerical methods verification. In: *GraphiCon 2020: Proceedings of the*

30th International conference on computer graphics and machine vision. 22-25 September 2020, Saint Petersburg. Saint Petersburg; 2020. EDN: KNJJPP.

10. Bondarev A.E. Processing of Visual Results of a Generalized Computational Experiment for the Problem of Supersonic Flow Around a Cone at an Angle of Attack. *Scientific Visualization*. 2021;13:104-116. <https://doi.org/10.26583/sv.13.2.08>.

11. Bondarev A., Kuvshinnikov A. Parametric study of the accuracy of OpenFOAM solvers for the oblique shock wave problem. In: *Ivannikov Ispras Open Conference. Proceedings-2019*. 05-06 December 2019, Moscow. Moscow; 2019. p. 106–112. <https://doi.org/10.1109/ISPRAS47671.2019.00023>. EDN: ZQRKU.

12. Samarsky A.A., Mikhailov A.P. Mathematical modeling. Ideas. Methods. Examples. 2nd Ed. Moscow: Fizmatlit; 2005. 320 p. (In Russ.).

13. Hockney R., Eastwood J. Numerical modeling by the particle method. Moscow: Mir; 1987. 640 p. (In Russ.).

14. Oñate E., Idelsohn S.R., Del Pin F., Aubry R. The particle finite element method – an overview. *International Journal of Computational Methods*. 2004;01(02):267-307. <https://doi.org/10.1142/S0219876204000204>.

15. Harlow F.H. The particle-in-cell computing method for fluid dynamics. *Methods in computational physics*. 1964;3:319-343.

16. Belotserkovsky O.M., Davydov Yu.M. The nonstationary method of "large particles" for gas dynamic calculations. *Zhurnal vychislitel'noi matematiki i matematicheskoi fiziki = Journal of Computational Mathematics and Mathematical Physics*. 1971;11(1):241-271. (In Russ.).

17. Ardelyan N.V., Bisnovaty-Kogan G.S., Moiseenko S.G. Simulation of magnetorotational astrophysical processes by implicit operator-difference scheme. *Lobachevskii Journal of Mathematics*. 2017;38(5):874-879. (In Russ.).

18. Idelsohn S., Nigro N., Limache A., Oñate E. Large time-step explicit integration method for solving problems with dominant convection. *Computer methods in applied mechanics and engineering*. 2012;217220:168-185. <https://doi.org/10.1016/j.cma.2011.12.008>.

19. Teleaga D., Struckmeier J. A finite-volume particle method for conservation laws on moving domains. *International journal for numerical methods in fluids*. 2008;58(9):945-967. <https://doi.org/10.1002/fld.1778>.

20. Baev A.Zh., Bogomolov S.V. On a stability of discontinuous particle method for transfer equation. *Matematicheskoe modelirovaniye*. 2017;29(9):3-18. (In Russ.). EDN: ZFWYWL.

21. Jiang Ch., Schroeder C., Teran J. An angular momentum conserving affine-particle-in-cell method. *Journal of Computational Physics*. 2017;338:137-164. <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2017.02.050>.

22. Fu Ch., Guo Q., Gast Th., Jiang Ch., Teran J. A Polynomial Particle-In-Cell Method. *ACM Transactions on Graphics*. 2017;36(6):222:1-222:12. <https://doi.org/10.1145/3130800.3130878>.

23. Lucy L.B. A Numerical Approach to the Testing of the Fission Hypothesis. *Astronomical Journal*. 1977;82:1013-1024. <https://doi.org/10.1086/112164>.

24. Idelsohn S.R., Oñate E., Del Pin F. The particle finite element method: a powerful tool to solve incompressible flows with free-surfaces and breaking waves // *International Journal for Numerical Methods in Engineering*. 2004. Vol. 61. Iss. 7. P. 964–989. <https://doi.org/10.1002/nme.1096>.

25. Vorobev A.P., Kriventsev V.I., Qian Lin, Xuewu Cao. Numerical modeling of fragmentation in liquid media with smoothed particle hydrodynamics (sph) method. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Yadernaya energetika =* 2008;1:85-94. (In Russ.). EDN KBBBOR.

26. Solbakov V.V., Yurezanskaya Yu.S. Comparison of the SPH method and the stochastic discrete particle method in solving shallow water equations. *Innovatsii. Nauka. Obrazovanie*. 2020;24:1690-1696. (In Russ.). EDN: ICQPAI.

Информация об авторах

Чупин Виктор Романович,

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

Information about the authors

Victor R. Chupin,

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

Мороз Мария Викторовна,
к.т.н., доцент кафедры инженерных
коммуникаций
и систем жизнеобеспечения,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: morozmv@istu.edu
<https://orcid.org/0000-0003-4255-619X>
Autor ID: 475565

Maria V. Moroz,
Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor
of the Department of Engineering Communications
and Life Support Systems,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: morozmv@istu.edu
<https://orcid.org/0000-0003-4255-619X>
Autor ID: 475565

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

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

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 23.11.2023.
Одобрена после рецензирования 19.12.2023.
Принята к публикации 27.12.2023.

Information about the article

The article was submitted 23.11.2023.
Approved after reviewing 19.12.2023.
Accepted for publication 27.12.2023.



Минимизация рисков при разработке перспективных схем водоснабжения и водоотведения

Р.Н. Ярыгин¹, Р.В. Чупин^{2✉}, Е.С. Мелехов³

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

Аннотация. Системы водоснабжения и водоотведения являются капиталоемкими, энергозатратными и сложными объектами, которые обладают значительной инерционностью и поэтому трудно адаптируются к постоянно меняющимся условиям эксплуатации. За последние 20 лет удельное водопотребление уменьшилось практически в два раза. Точечная застройка, несбалансированное с инженерными коммуникациями новое строительство привели к тому, что многие участки систем водоснабжения и водоотведения оказались перегруженными, другие практически не работают. Все эти факторы привели к увеличению аварийности, значительным эксплуатационным затратам, к нерациональным гидравлическим режимам, к ухудшению качества питьевой воды, к засорам и закупорке канализационных коллекторов. В качестве примера можно привести групповые водопроводы, строительство которых было очень популярным в эпоху «развитого социализма» и постперестроечный период. В настоящее время многие из них продолжают работать, эксплуатироваться, а воду подавать некому, поскольку многие населенные пункты по причине миграционных процессов просто перестали существовать. Причиной сложившейся ситуации является ошибки планирования и проектирования, а точнее, упущение тех факторов, которые происходят сейчас и возможно произойдут в будущем. Известно, что проектирование – это процесс, позволяющий создать еще несуществующий объект. Объект надо запроектировать так, чтобы он функционировал в будущих периодах его эксплуатации, а будущее не определено и не имеет детерминированных параметров и значений (основное противоречие проектирования). В работе предлагается один из возможных подходов для разрешения данного противоречия, основанный на исследовании зоны неопределенности и определения вариантов с минимальными экономическими рисками.

Ключевые слова: системы водоснабжения и водоотведения, неопределенность в численности населения и водопотребления, выбор предпочтительного варианта строительства и реконструкции систем водоотведения

Для цитирования: Ярыгин Р.Н., Чупин Р.В., Мелехов Е.С. Минимизация рисков при разработке перспективных схем водоснабжения и водоотведения // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 1. С. 149–160. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-1-149-160>. EDN: TORJZJ.

Minimizing risks in the development of prospective water supply and wastewater discharge schemes

Roman N. Yarygin¹, Roman V. Chupin^{2✉}, Evgeny S. Melekhov³

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

Abstract. Water supply and wastewater discharge systems constitute capital-intensive, energy-consuming, and complex facilities that are characterized by significant inertia and are, therefore, difficult to adapt to constantly changing operating conditions. The past 20 years have seen a decrease in specific water consumption by almost half. Infill development and the fact that new projects are not designed for the existing utility lines caused an overload in many parts of water supply and wastewater discharge systems, while others became virtually non-functioning. All these factors led to increased failure rates, significant maintenance costs, inadequate hydraulic conditions, and deterioration of drinking water quality, as well as clogs and blockages in sewers. An example is group water supply systems, whose construction was

very popular in the era of “developed socialism” and the post-perestroika period. Nowadays, many of them continue to operate, with no one to supply water to, as many settlements have simply ceased to exist due to migration processes. The current situation can be attributed to planning and design errors or, more precisely, the neglect of factors that exist now and will probably arise in the future. Design is known to be a process of creating an object that is yet to be realized. The object needs to be designed so that it functions in the future, and the future is not defined and has no deterministic parameters and values (the basic contradiction of design). The article proposes one of the possible approaches to resolving this contradiction; it is based on studying the zone of uncertainty and identifying minimum economic risk options.

Keywords: water supply and sanitation systems, uncertainty in population and water consumption, the choice of the preferred option for the construction and reconstruction of wastewater systems.

For citation: Yarygin R.N., Chupin R.V., Melekhov E.S. Minimizing risks in the development of prospective water supply and wastewater discharge schemes. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'* = *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(1):149-160. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-1-149-160>. EDN: TORJZJ.

ВВЕДЕНИЕ

Населенные территории и современные города развиваются несмотря на то, что численность населения многих из них уменьшается за счет естественной убыли и миграционных процессов, которые по многим причинам невозможно остановить. Определяющим параметром при создании будущей модели и системы водоотведения городской территории является ее производительность – объемы транспортируемой сточной жидкости, которые могут по мере развития системы изменяться – увеличиваться или уменьшаться как в долгосрочном периоде, так и в течении суток. Величина водоотведения зависит от планируемых объемов жилищного, социального и промышленного строительства, численности населения, удельного водопотребления, применения ресурсосберегающих технологий, автоматизации и интеллектуализации эксплуатации. В свою очередь объемы жилищного и социального строительства зависят от многих факторов, в том числе от покупательской способности населения, наличия государственных субсидий, организационно-финансового состояния застройщиков и др. Все перечисленные условия в конечном итоге порождают неопределенности в перспективных нагрузках водоотведения.

Согласно Градостроительному кодексу Российской Федерации (ГрК РФ 2023 г.) и постановлению правительства РФ от 5 сентября 2013 г. № 782 схемы водоснабжения и водоотведения разрабатываются на период не менее 10 лет. Однако, что будет через 10 лет, какие будут цены и инфляция, какое будет удельное потребление воды и водоотведение, какая будет численность населения – невозможно точно определить и спрогнозировать. По этой причине в СП 31.13330.2021 рекомендуется

указывать не конкретные числа, а интервал значений удельных расходов. В качестве примера можно указать 165–180 л/чел сутки, но возникает проблема, какое из предложенных значений учитывать в расчетах. Можно выбрать удельный расход в 165 л/чел в сутки, но после реализации проекта он может оказаться 180 л/чел сутки. Следовательно, потребуются увеличение мощности сооружений и дополнительные значительные финансовые затраты. Можно выбрать удельный расход в 180 л/чел в сутки, а после реализации проекта он окажется 165 л/чел сутки. В этом случае мощности сооружений окажутся завышенными, а режимы эксплуатации будут нерациональными и затратными. Можно при выборе расчетной удельной нагрузки принимать во внимание фактическое водопотребление и водоотведение, например 170 л/чел сутки, но это возможно, если есть уверенность, что она не изменится в момент окончания строительства сооружения. В настоящей публикации предлагается подход, основанный на многовариантном расчете и проектировании систем водоотведения на всевозможные значения нагрузок и оценке каждого из возможных вариантов на основе матрицы финансовых рисков. При этом риски оцениваются через стоимости жизненного цикла различных сценариев реализации проекта. Разработанный подход рекомендуется использовать при обосновании параметров перспективных схем водоснабжения и водоотведения. Неопределенность по объемам водоотведения, по количеству абонентов, пользующихся услугами будущей системы водоотведения, в работах [1–5] предлагается учитывать на основе методологии нечеткого представления данных и теории принятия решений. Анализ зарубежных подходов и

методов по управлению сложными техническими системами, в том числе системами водоснабжения и водоотведения, показал, что эффективными методами борьбы с неопределенностью параметров проектируемых систем являются методы, основанные на нечетком множестве, на алгебре интервальной математики, теории игр и принятии решения [6–17]. В настоящей работе исследуются критерии принятия решения, которые минимизируют финансовые риски, формируются общие рекомендации по выбору расчетных значений объемов водоотведения на каждом из этапов строительства, развития и реконструкции. Перед разработчиками перспективных схем водоотведения на период 10 и более лет возникает ряд неопределенностей, имеющих природный и антропогенный характер. Человечество на всем своем протяжении существования изучает климат планеты, но прогноз, которому можно доверять, осуществим всего на 3-5 дней. В человеческой деятельности неопределенности имеют политические, экономические, технические, социальные аспекты. Неопределенности, с которыми сталкиваются проектировщики и лица, принимающие решения о строительстве систем водоотведения, можно классифицировать как следующие: неточности информации о динамике, технико-экономических показателей, параметров новой техники и технологии. А также нагрузки, сроки ввода в строй объектов водоотведения, состояние заказчиков и застройщиков и др. С позиции обоснования параметров будущей системы наиболее важным показателем является удельное водопотребление и, следовательно, водоотведение. К этому показателю можно привести численность населения и другие неопределенные параметры. Поэтому в работе исследуется удельное водоотведение и предлагаются подходы к проектированию систем водоотведения с учетом вариативности этого показателя.

МЕТОДЫ

Как уже отмечалось, при проектировании систем водоотведения следует рассматривать не одно фиксированное значение нагрузки, а всевозможные их варианты, причем на каждое значение следует формировать модель будущей системы и затем анализировать всевозможные исходы. Например, было выбрано одно значение нагрузки и построена система, а после строительства оказалось другая фактическая нагрузка. Если она окажется больше принятой в проекте, то система не может обеспечить транспортировку сточных вод. Следовательно, потребуются перекладка, переустройство, либо дополнительное строительство: новые насосные станции и

трубопроводы. Так, вариант системы водоотведения будет включать все мероприятия и затраты, рассчитанные на его реализацию, плюс затраты на реконструкцию. Если было выбрано одно значение нагрузки, а фактическая оказалась меньше, то также потребуются дополнительные затраты, чтобы привести к норме скоростные режимы движения сточных вод. Такие вычисления можно провести для любых допустимых к расчету нагрузок водоотведения и различных исходов. Любые дополнительные затраты на реконструкцию можно отнести к возможным рискам. Очевидно, что из всех полученных таким образом вариантов требуется выбрать тот, где меньше всего рисков при его строительстве и при последующей реконструкции. Для минимизации ошибок при проектировании и принятии решений о строительстве систем водоотведения предлагается на каждом этапе проводить исследования перечисленных выше неопределенностей и принимать те расчетные значения и параметры, которые бы обеспечивали минимальные из возможных рисков.

Например, для исследования неопределенности удельного водоотведения и обоснования его значений, обеспечивающих в будущих периодах функционирования систем водоотведения с наименьшими рисками, требуется:

- определить граничные значения нагрузок у существующих и новых абонентов, а также сформировать интервалы данной неопределенности;

- по каждому интервалу неопределенности зафиксировать среднее значение и произвести обоснование параметров системы водоотведения, определить стоимостные показатели, например, стоимость за жизненный цикл (СЖЦ) [18–20];

- построить матрицу рисков, которая представляет всевозможные исходы и отклонения от принятых в расчетах параметров системы и затраты, которые потребуются, чтобы реконструировать принятый вариант до фактических параметров системы в будущих периодах ее функционирования;

- рассчитать возможные риски, определить их количественные (средние, суммарные, взвешенные показатели) и выбрать вариант, который бы удовлетворял лиц, принимающих решение.

Интервалы неопределенности в отношении нагрузок, количества абонентов, времени ввода в эксплуатацию, стоимости оборудования и строительства следует назначать не произвольно, а на основе различных прогнозов, программ социально-экономического развития, форсайтов, стратегических планов,

экспертных оценок, ретроспективного анализа и др. С учетом изложенного методического подхода к проектированию систем водоотведения в условиях неопределенности удельного водоотведения рассмотрим в качестве примера обоснования параметров самотечного коллектора длиной 1 км с уклоном 0,002, по которому стоки будут отводиться на канализационные сооружения от вновь строящегося района на 100 тыс. чел.

Согласно СП 31.13330.2021 в качестве границ зоны неопределенности удельного

водоотведения примем значения 165–180 л/чел в сутки и рассчитаем возможные минимальные и максимальные объемы водоотведения нового района застройки. Эти нагрузки будут следующими: 0,19–0,21 м³/с. Разобьем исследуемый интервал на следующие значения: 0,19; 0,195; 0,2; 0,205; 0,21. Для каждого значения расходов определим теоретические диаметры коллекторов с расчетным наполнением 0,7 и по укрупненным нормам определим капиталовложения в них [18]. Результаты расчетов представлены в табл. 1.

Таблица 1. Выбор предпочтительного варианта строительства коллектора

Table 1. Choosing the preferred option for the construction of a collector

	Расход, м³/с	диаметр, мм	СЖЦ млн руб.	Стандартный диаметр, мм	Наполнение h/d	Скорость, м/с
1	2	3	4	5	6	7
1	0,190	570	150	630	0,65	0,99
2	0,195	580	150	630	0,66	0,99
3	0,200	590	150	630	0,67	0,99
4	0,205	590	150	630	0,69	0,99
5	0,210	600	150	630	0,70	1,00

Как видно из таблицы, для всех теоретических диаметров (см. колонку 3) стандартным будет диаметр коллектора 630 мм. Для диаметра 630 мм пропуск возможных расходов от 0,19 до 0,21 м³/с не приведет к нарушению гидравлических параметров по наполнению и скоростному режиму (см. колонки 6,7).

Следовательно, в расчет принимается диаметр 600 мм и при этом риск будет нулевой. Рассмотрим случай, когда требуется обосновать параметры самотечного коллектора длиной 1 км с уклоном 0,001, от нового района на 500 тыс. чел. Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Таблица 2. Выбор предпочтительного варианта строительства коллектора

Table 2. Choosing the preferred option for the construction of a collector

	Расход, м³/с	Диаметр, мм	СЖЦ млн руб.	Стандартный диаметр, мм	Наполнение h/d	Скорость, м/с
1	0,950	1140	300,0	1200	0,71	1,11
2	0,975	1150	300,0	1200	0,72	1,11
3	1,000	1160	300,0	1200	0,74	1,12
4	1,025	1170	300,0	1200	0,76	1,12
5	1,050	1180	300,0	1200	0,77	1,12

Как видно из таблицы, для всех теоретических диаметров (см. колонку 3) стандартным будет диаметр коллектора 1200 мм.

Для диаметра 1200 мм пропуск возможных расходов от 0,95 до 1,05 м³/с не приведет к нарушению гидравлических параметров по наполнению и скоростному режиму (см. колонки 6, 7).

Следовательно, в расчет принимается диаметр 1200 мм и при этом риск будет нулевой.

В качестве рекомендации проектировщикам следует в расчетах принимать из диапазона удельного водопотребления 165–180 л/чел в сутки (см. СП 31.13330.2021), наибольшее значение 185 л/чел в сутки.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

Следует отметить, что нормы в СП 31.13330.2021 рассчитаны на перспективу от одного года и до трех лет, но если рассматривать временной интервал более 10 лет, то за счет энергосберегающей политики и технологий удельное водопотребление может уменьшиться до значений 100 л/чел в сутки, а может, за счет устройства бассейнов в квартирах, посудомоечных и стиральных машин, вернуться на исходные позиции в 250 л/чел в сутки. В этом случае, для населенного района в 100 тыс. чел диапазон расходов расширится до значений от 0,1 до 0,29 л/с и решение будет другим (см. табл. 3).

Таблица 3. Выбор предпочтительного варианта строительства для диапазона удельных нагрузок 100–250 л/чел в сутки

Table 3. Selection of the preferred construction option for the specific load range of 100-250 litres per person per day

№	Расход, м³/с	Теоретический диаметр, мм	СЖЦ млн руб.	Стандартный диаметр, мм	Наполнение h/d	Скорость, м/с
1	0,10	450	125	500	0,58	0,85
2	0,11	470	125	500	0,62	0,86
3	0,13	500	125	500	0,7	0,89
4	0,15	530	150	630	0,55	0,94
5	0,17	550	150	630	0,6	0,96
6	0,19	570	150	630	0,65	0,99
7	0,21	600	150	630	0,7	1,00
8	0,23	620	200	800	0,29	1,04
9	0,25	640	200	800	0,48	1,06
10	0,27	660	200	800	0,5	1,08
11	0,29	670	200	800	0,51	1,09

Как видно из таблицы, для расходов от 0,1 до 0,13 м³/с требуется диаметр коллектора 500 мм, для от 0,15 до 0,21 м³/с – диаметр 630 мм, а для от 0,23 до 0,29 м³/с – диаметр 800 мм. Какой из трех диаметров или расход принять в качестве расчетного – однозначно сказать затруднительно. Рассмотрим всевозможные исходы и определим при каких расходах коллектора будут работать в допустимых гидравлических режимах, а при каких они переполнятся (случай наполнения больше 0,8). Матрица включает n столбцов и n строк. Строки обозначают выбор решения и его последствия в случае совпадения и несовпадения после реализации проекта. Например, в табл. 4 вторая строка обозначает, что выбран в качестве расчетного расход 0,1 м³/с, а после реализации

проекта расход может оказаться от 0,1 м³/с (совпадение), 0,11 уже не совпадение, и так до значения 0,29 м³/с. Третья строка соответствует выбору расхода 0,11 м³/с и т. д. до расхода 0,29 м³/с. Очевидно, диагональ этой матрицы будет соответствовать совпадению (какой расход выбрали, такой он и оказался). Важными показателями проектируемой системы водоотведения являются наполнение, которое должно быть в пределах от 0,3 до 0,7, скорость потока сточной жидкости должна быть не больше заиливающей скорости. Поэтому исследуем интервал неопределенности расходов от 0,1 до 0,29 м³/с и построим матрицу рисков в части попадания наполнения в интервал от 0,3 до 0,7. Для дискретных значений диаметров эти наполнения представлены в табл. 4.

Таблица 4. Матрица рисков в части возможных наполнений самотечных коллекторов стандартного диаметра

Table 4. Risk matrix regarding possible fillings of gravity collectors of standard diameter

D, м	м³/с	0,10	0,11	0,13	0,15	0,17	0,19	0,21	0,23	0,25	0,27	0,29
0,5	0,10	0,58	0,62	0,7	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,5	0,11	0,58	0,62	0,7	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,5	0,13	0,58	0,62	0,7	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,6	0,15	0,43	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	1,0	1,0	1,0	1,0
0,6	0,17	0,43	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	1,0	1,0	1,0	1,0
0,6	0,19	0,43	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	1,0	1,0	1,0	1,0
0,6	0,21	0,43	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,7	0,59	0,62	0,66
0,7	0,23	0,34	0,37	0,4	0,43	0,47	0,50	0,53	0,56	0,59	0,62	0,66
0,7	0,25	0,34	0,37	0,4	0,43	0,47	0,50	0,53	0,56	0,59	0,62	0,66
0,7	0,27	0,34	0,37	0,4	0,43	0,47	0,50	0,53	0,56	0,59	0,62	0,66
0,7	0,29	0,33	0,37	0,4	0,43	0,47	0,50	0,53	0,56	0,59	0,62	0,66

Очевидно, для участков, у которых наполнение будет 1, потребуется переложить на больший диаметр, либо проложить параллельно, дополнительный трубопровод (см. табл. 5, показано голубым цветом). На основании табл. 5 по каждому исходу определим затраты за жизненный цикл и сведем их в табл. 6.

Далее, возникает задача, какой из расходов, а, следовательно, и диаметр, принять в расчет, чтобы риски были бы минимальными.

В теории принятия решения [21] общепринятыми являются пять критериев. Исследуем матрицу рисков (табл. 6) в отношении этих критериев.

Таблица 5. Матрица возможных диаметров коллекторов

Table 5. Matrix of possible collector diameters

D, м	м³/с	0,10	0,11	0,13	0,15	0,17	0,19	0,21	0,23	0,25	0,27	0,29
0,5	0,10	0,5	0,5	0,5	0,5+ 0,25	0,5+ 0,3	0,5+ 0,4	0,5+ 0,5	0,5+ 0,5	0,5+ 0,5	0,5+ 0,6	0,5+ 0,6
0,5	0,11	0,5	0,5	0,5	0,5+ 0,25	0,5+ 0,3	0,5+ 0,4	0,5+ 0,5	0,5+ 0,5	0,5+ 0,5	0,5+ 0,6	0,5+ 0,6
0,5	0,13	0,5	0,5	0,5	0,5+ 0,25	0,5+ 0,3	0,5+ 0,4	0,5+ 0,5	0,5+ 0,5	0,5+ 0,5	0,5+ 0,6	0,5+ 0,6
0,6	0,15	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6+ 0,25	0,6+ 0,3	0,6+ 0,4	0,6+ 0,5
0,6	0,17	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6+ 0,25	0,6+ 0,3	0,6+ 0,4	0,6+ 0,5
0,6	0,19	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6+ 0,25	0,6+ 0,3	0,6+ 0,4	0,6+ 0,5
0,6	0,21	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6+ 0,25	0,6+ 0,3	0,6+ 0,4	0,6+ 0,5
0,8	0,23	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
0,8	0,25	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
0,8	0,27	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
0,8	0,29	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8

Таблица 6. Матрица рисков относительно затрат за жизненный цикл коллектора

Table 6. Risk matrix with respect to costs over the life cycle of the collector

D, м	м³/с	0,10	0,11	0,13	0,15	0,17	0,19	0,21	0,23	0,25	0,27	0,29
0,5	0,10	125	125	125	175	185	195	250	250	250	275	275
0,5	0,11	125	125	125	175	185	195	250	250	250	275	275
0,5	0,13	125	125	125	175	185	195	250	250	250	275	275
0,6	0,15	150	150	150	150	150	150	150	200	210	220	275
0,6	0,17	150	150	150	150	150	150	150	200	210	220	275
0,6	0,19	150	150	150	150	150	150	150	200	210	220	275
0,6	0,21	150	150	150	150	150	150	150	200	210	220	275
0,8	0,23	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
0,8	0,25	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
0,8	0,27	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
0,8	0,29	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200

Критерий 1 (Лапласа)

Предполагает, что все риски равновероятны и поэтому по каждой строке вычисляются средневзвешенные их значения (СЖЦ суммируются и делятся на их количество, на 11). Эти значения представлены в последнем столбце

табл. 7. Из всех средневзвешенных рисков выбирается минимальный и в качестве расчетного принимается соответствующий расход или диаметр трубопровода.

Согласно таблице – это будут расходы от 0,15 до 0,21 м³/с, или диаметр 600 мм.

Таблица 7. Матрица рисков и выбор предпочтительного решения

Table 7. Risk matrix and choice of preferred solution

Расход м³/с	0,10	0,11	0,13	0,15	0,17	0,19	0,21	0,23	0,25	0,27	0,29	Средняя СЖЦ, млн руб.
0,10	125	125	125	175	185	195	250	250	250	275	275	184,5
0,11	125	125	125	175	185	195	250	250	250	275	275	184,5
0,13	125	125	125	175	185	195	250	250	250	275	275	184,5
0,15	150	150	150	150	150	150	150	200	210	220	275	177,7
0,17	150	150	150	150	150	150	150	200	210	220	275	177,7
0,19	150	150	150	150	150	150	150	200	210	220	275	177,7
0,21	150	150	150	150	150	150	150	200	210	220	275	177,7
0,23	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200,0
0,25	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200,0
0,27	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200,0
0,29	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200,0

Критерий 2 (Вальда)

Основывается на предположении, что скорее всего произойдет наиболее худший вариант, т. е. были выбраны минимальные значения расходов, а после строительства они оказались максимальными. Поэтому среди наихудших исходов требуется выбрать наилучший, с минимальным риском. Для применения

этого критерия в матрице рисков в каждой строке выбирается максимальное значение по СЖЦ. Из всех максимальных значений в расчет принимается минимальное – наилучшее решение из всех наихудших. В этом случае, согласно табл. 8, следует принять расходы от 0,23 до 0,29 м³/с. и в качестве расчетного диаметра 800 мм.

Таблица 8. Матрица рисков и выбор предпочтительного решения

Table 8. Risk matrix and choice of preferred solution

Расход м³/с	0,10	0,11	0,13	0,15	0,17	0,19	0,21	0,23	0,25	0,27	0,29	Макс. СЖЦ, млн руб.
0,10	125	125	125	175	185	195	250	250	250	275	275	275
0,11	125	125	125	175	185	195	250	250	250	275	275	275
0,13	125	125	125	175	185	195	250	250	250	275	275	275
0,15	150	150	150	150	150	150	150	200	210	220	275	275
0,17	150	150	150	150	150	150	150	200	210	220	275	275
0,19	150	150	150	150	150	150	150	200	210	220	275	275
0,21	150	150	150	150	150	150	150	200	210	220	275	275
0,23	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200,0
0,25	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200,0
0,27	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200,0
0,29	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200,0

Критерий 3 (максимального оптимизма)

Если лицо, принимающее решение, уверено, что развитие пойдет по наилучшему сценарию, например, за счет ресурсосберегающих мероприятий, то удельное водопотребление

будет уменьшаться. В этом случае по каждой строке матрицы рисков выбираются минимальные значения СЖЦ и из всех минимальных выбирается наименьшее по значению. В соответствии с данным критерием в табл. 9 в

последнем столбце представлены минимальные значения по каждой строке и в качестве расчетного расхода принят промежуток от 0,1 до 0,13 м³/с, а диаметр трубопровода 500 мм.

Таблица 9. Матрица рисков и выбор предпочтительного решения

Table 9. Risk matrix and choice of preferred solution

Расход м³/с	0,10	0,11	0,13	0,15	0,17	0,19	0,21	0,23	0,25	0,27	0,29	Миним. СЖЦ, млн руб.
0,10	125	125	125	175	185	195	250	250	250	275	275	125
0,11	125	125	125	175	185	195	250	250	250	275	275	125
0,13	125	125	125	175	185	195	250	250	250	275	275	125
0,15	150	150	150	150	150	150	150	200	210	220	275	150
0,17	150	150	150	150	150	150	150	200	210	220	275	150
0,19	150	150	150	150	150	150	150	200	210	220	275	150
0,21	150	150	150	150	150	150	150	200	210	220	275	150
0,23	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200,0
0,25	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200,0
0,27	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200,0
0,29	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200,0

Критерий 4 (Сэвиджа)

Основан на принципе минимизации потерь, связанных с тем, что принято не оптимальное решение.

Матрица потерь строится на основании матрицы рисков (см. табл. 9), в которой в каждом столбце выбирается элемент с минимальным риском и по каждому другому элементу

столбца определяется разница между ними. В последнем столбце матрицы потерь (см. табл. 10) заносятся максимальные разницы по каждой строке. Из всех максимальных разниц выбирается минимальная, она и принимается в расчет. Согласно данному критерию решением будут расходы от 0,15 до 0,29 м³/с и диаметры коллекторов 630 и 800 мм.

Таблица 10. Матрица потерь и выбор предпочтительного решения

Table 10. Loss matrix and choice of preferred solution

Расход м³/с	0,10	0,11	0,13	0,15	0,17	0,19	0,21	0,23	0,25	0,27	0,29	Макс. стои- мость, млн руб.
0,10	0	0	0	25	35	45	100	50	50	75	75	100
0,11	0	0	0	25	35	45	100	50	50	75	75	100
0,13	0	0	0	25	35	45	100	50	50	75	75	100
0,15	25	25	25	0	0	0	0	0	10	20	75	75
0,17	25	25	25	0	0	0	0	0	10	20	75	75
0,19	25	25	25	0	0	0	0	0	10	20	75	75
0,21	25	25	25	0	0	0	0	0	10	20	75	75
0,23	75	75	75	50	50	50	50	0	0	0	0	75
0,25	75	75	75	50	50	50	50	0	0	0	0	75
0,27	75	75	75	50	50	50	50	0	0	0	0	75
0,29	75	75	75	50	50	50	50	0	0	0	0	75
	125	125	125	150	150	150	150	200	200	200	200	

Критерий 5 (Гурвица)

Вводится некоторый коэффициент оптимизма α , который выражает доверие к наилучшему исходу и доверие $(1 - \alpha)$ к наихудшему исходу. Если вероятности благоприятной и неблагоприятной ситуации равны, то следует принять $\alpha = 0,5$. Выбирается та альтернатива, для которой функция полезности максимальна. Пусть $\alpha = 0,5$, то согласно вышеизложенному, по каждой строке выбирается

элемент с наименьшими и наибольшими значениями стоимости за жизненный цикл системы и в последнем столбце записывается среднее значение. В итоге принимается вариант расхода с минимальными средними значениями.

Согласно таблице 11, принимаем значения расходов от 0,1 до 0,13 м³/с, либо от 0,23 до 0,29 м³/с, соответственно диаметры либо 500 мм, либо 800 мм.

Таблица 11. Матрица рисков и выбор предпочтительного решения

Table 11. Risk matrix and choice of preferred solution

Расход м³/с	0,10	0,11	0,13	0,15	0,17	0,19	0,21	0,23	0,25	0,27	0,29	Миним. стоимость, млн руб.
0,10	125	125	125	175	185	195	250	250	250	275	275	200
0,11	125	125	125	175	185	195	250	250	250	275	275	200
0,13	125	125	125	175	185	195	250	250	250	275	275	200
0,15	150	150	150	150	150	150	150	200	210	220	275	212,5
0,17	150	150	150	150	150	150	150	200	210	220	275	212,5
0,19	150	150	150	150	150	150	150	200	210	220	275	212,5
0,21	150	150	150	150	150	150	150	200	210	220	275	212,5
0,23	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200,0
0,25	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200,0
0,27	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200,0
0,29	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200,0

Из пяти основных критериев теории принятия решения по трем критериям предпочтительными расходами являются от 0,23 до 0,29 м³/с. Следовательно, для проектирования можно принять коллектор с диаметром 800 мм. При этом риски будут минимальными, хотя этот вариант будет на начальном этапе строительства самым дорогим. С другой стороны, коллектор диаметром 800 мм будет практически всегда недогруженным, поскольку для расхода 0,29 м³/с теоретический диаметр составляет 670 мм.

Для расходов 0,1 м³/с наполнение будет близким к 0,3, а в ночные расходы будет меньше чем 0,3 и возможна работа при скоростях, меньше заиливающих, но вариант с диаметром 800 мм при любом исходе в отношении расходов не потребует перекадок и параллельных прокладок самотечных коллекторов. Подобные вычисления можно провести и в условиях неопределенности перспективных численности населения, стоимостных показателей, экологических факторов, возможных землетрясений и др.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. При рассмотрении перспективных схем водоотведения возникают неопределенности, связанные с объемами сточных вод, численностью населения, стоимостью оборудования и др. параметрами. Возникают риски от ошибочных решений и эти риски могут приводить к значительным финансовым затратам.

2. Предлагается нагрузки по водоотведению рассматривать как нечеткие множества и переходить к многовариантному проектированию на разные значения в интервале их неопределенности. На основе полученных таким образом вариантов перспективных схем водоотведения строится матрица всевозможных исходов и определяется вариант, обеспечивающий минимальные риски по стоимости их жизненного цикла.

3. На основании численных экспериментов наименее рискованным вариантом при разработке перспективных схем водоотведения является вариант, рассчитанный на максимальные удельные нагрузки, рекомендуемые в СП 31.13330.2021, т. е. 180 л/чел в сутки.

4. Реализацию перспективных схем водоотведения рекомендуется осуществлять поэтапно в виде очередей строительства, с оценкой планируемых и достигнутых значений удельного водопотребления и численности населения. После каждого этапа строительства необходимо оценивать фактические нагрузки, делать прогноз, оценивать финансовые риски и корректировать решение.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Чупин Р.В., Примин О.Г. Обоснование параметров систем водоотведения в условиях неопределенности перспективного потребления воды и сброса стоков // Водоснабжение и санитарная техника. 2017. № 11. С. 36–43. EDN: ZRKPZR.
2. Чупин Р.В., Мороз М.В., Чупин Р.В. Проектирование систем водоснабжения и водоотведения в условиях нечетких значений перспективного водопотребления и численности населения // Водоснабжение и санитарная техника. 2022. № 11. С. 16–25. <https://doi.org/10.35776/VST.2022.11.02>. EDN: XXZIEA.
3. Чупин Р.В. Индикативное и адаптивное управление развитием систем водоотведения // Водоснабжение и санитарная техника. 2018. № 8. С. 31–37. EDN: XWQJJR.
4. Пешков В.В., Бобер В.А., Шлепнев О.К. Учет неопределенности водопотребления при оптимизации перспективных схем развития систем водоснабжения и водоотведения // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2021. Т. 11. № 3 (38). С. 446–451. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-446-451>. EDN: EIKRUB.
5. Чупин Р.В. Современное состояние, перспективы и пути развития систем водоснабжения и водоотведения, методы их расчета, построения и организации эксплуатации // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 2 (45). С. 359–368. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-2-359-368>. EDN: BYRIND.
6. Honghua Shi, Xiaosheng Wang, Haiying Guo, Huifeng Hao Risk Assessment Models to Investigate the Impact of Emergency on a Water Supply System // Water Supply. 2020. Vol. 20. Iss. 8. P. 3542–3556. <https://doi.org/10.2166/ws.2020.224>.
7. Odjegba E., Oluwasanya G., Sadiq A., Brion G. Sustainability and Risk Assessment Matrix (SRAM): Pathway to Water Security // Water Supply. 2020. Vol. 20. Iss. 7. P. 2928–2940. <https://doi.org/10.2166/ws.2020.196>.
8. Nesticò A., De Mare G., Maselli G. An Economic Model of Risk Assessment for Water Projects // Water Supply. 2020. Vol. 20. Iss. 6. P. 2054–2068. <https://doi.org/10.2166/ws.2020.093>.
9. Marques J., Cunha M. Upgrading Water Distribution Networks to Work Under Uncertain Conditions // Water Supply. 2020. Vol. 20. Iss. 3. P. 878–888. <https://doi.org/10.2166/ws.2020.011>.
10. Pandey P., Dongre S., Gupta R. Probabilistic and Fuzzy Approaches for Uncertainty Consideration in Water Distribution Networks – A Review // Water Supply. 2020. Vol. 20. Iss. 1. P. 13–27. <https://doi.org/10.2166/ws.2019.141>.
11. Zhaocai Wang, Xian Wu, Huifang Wang, Tunhua Wu Prediction and Analysis of Domestic Water Consumption Based on Optimized Grey and Markov Model // Water Supply. 2020. Vol. 21. Iss. 7. P. 3887–3899. <https://doi.org/10.2166/ws.2021.146>.
12. Noori M., Emadi A., Fazloulou R. An Agent-Based Model for Water Allocation Optimization and Comparison with The Game Theory Approach // Water Supply. 2020. Vol. 21. Iss. 7. P. 3584–3601. <https://doi.org/10.2166/ws.2021.124>.
13. Fitzgerald S.K., Owens C., Angles M., Hockaday D., Blackmore M., Ferguson M. Reframing Risk: A Risk Pathway Method for Identifying Improvement Through Control and Threat Analysis // Water Supply. 2018. Vol. 18. Iss. 1. P. 175–182. <https://doi.org/10.2166/ws.2017.098>.
14. Kalbusch A., Ghisi E. Energy Consumption in The Life Cycle of Plumbing Fixtures // Water Supply. 2019. Vol. 19. Iss. 1. P. 70–78. <https://doi.org/10.2166/ws.2018.053>.
15. Mangalekar R.D., Gumaste K.S. Residential Water Demand Modelling and Hydraulic Reliability in Design of Building Water Supply Systems: A Review // Water Supply. 2021. Vol. 21. Iss. 4. P. 1385–1397. <https://doi.org/10.2166/ws.2021.021>.
16. Palod N., Prasad V., Khare R. Non-Parametric Optimization Technique for Water Distribution in Pipe Networks // Water Supply. 2020. Vol. 20. Iss. 8. P. 3068–3082. <https://doi.org/10.2166/ws.2020.200>.
17. Shabani M., Gharneh N.S., Niaki S.T.A. Planning for Urban Water Supply–Demand Portfolio Using A Hybrid Robust Stochastic Optimization Approach // Water Supply. 2020. Vol. 20. Iss. 8. P. 3433–3448. <https://doi.org/10.2166/ws.2020.257>.
18. Чупин Р.В., Мороз М.В., Бобер В.А. Обоснование диаметров трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения на основе минимизации затрат их жизненного цикла // Водоснабжение и санитарная техника. 2022. № 4. С. 52–58. <https://doi.org/10.35776/VST.2022.04.07>. EDN: CIOYJH.

19. Чупин Р.В., Фам Н.М. Оптимизация структуры и параметров развивающихся систем группового водоснабжения // Водоснабжение и санитарная техника. 2019. № 1. С. 30–37. EDN: VRGOFJ.
20. Чупин Р.В., Мороз М.В. Применение автомобильного транспорта в системах группового водоснабжения и водоотведения // Водоснабжение и санитарная техника. 2021. № 5. С. 57–64. <https://doi.org/10.35776/VST.2021.05.07>. EDN: RDVUAL.
21. Пахомов П.И., Немтинов В.А. Технология поддержки принятия решений по управлению инженерными коммуникациями. М.: Машиностроение, 2009. 124 с.

REFERENCES

1. Chupin R.V., Primin O.G. Substantiation of The Wastewater Disposal System Parameters in The Context of Projected Water Consumption and Wastewater Discharge Uncertainty. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water Supply and Sanitary Technique*. 2017;11:36-43. (In Russ.). EDN: ZRKPZR.
2. Chupin V.R., Moroz M.V., Chupin R.V. Designing Water Supply and Wastewater Disposal Systems in Conditions of Fuzzy Values of Prospective Water Consumption and Population Base. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water Supply and Sanitary Technique*. 2022;11:16-25. (In Russ.). <https://doi.org/10.35776/VST.2022.11.02>. EDN: XXZIEA.
3. Chupin R.V. Indicative and Adaptive Management of the Water Supply and Wastewater Disposal System Development. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water Supply and Sanitary Technique*. 2018;8:31-37. (In Russ.). EDN: XWQJJR.
4. Peshkov V.V., Bober V.A., Shlepnev O.K. Addressing Uncertainty in Water Consumption When Optimising Promising Water Supply and Disposal Schemes. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2021;11;3(38):446-451. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-446-451>. EDN: EIKRUB.
5. Chupin V.R. Current State and Prospects of Water Supply and Sanitation Systems, Methods for Their Calculation, Design, and Operation. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2023;13;2(45):359-368. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-2-359-368>. EDN: BYRIND.
6. Honghua Shi, Xiaosheng Wang, Haiying Guo, Huifeng Hao Risk Assessment Models to Investigate the Impact of Emergency on a Water Supply System. *Water Supply*. 2020;20;8:3542-3556. <https://doi.org/10.2166/ws.2020.224>.
7. Odjegba E., Oluwasanya G., Sadiq A., Brion G. Sustainability and Risk Assessment Matrix (SRAM): Pathway to Water Security. *Water Supply*. 2020;20;7:2928-2940. <https://doi.org/10.2166/ws.2020.196>.
8. Nesticò A., De Mare G., Maselli G. An Economic Model of Risk Assessment for Water Projects. *Water Supply*. 2020;20;6:2054-2068. <https://doi.org/10.2166/ws.2020.093>.
9. Marques J., Cunha M. Upgrading Water Distribution Networks to Work Under Uncertain Conditions. *Water Supply*. 2020;20;3:878-888. <https://doi.org/10.2166/ws.2020.011>.
10. Pandey P., Dongre S., Gupta R. Probabilistic and Fuzzy Approaches for Uncertainty Consideration in Water Distribution Networks – A Review. *Water Supply*. 2020;20;1:13-27. <https://doi.org/10.2166/ws.2019.141>.
11. Zhaocai Wang, Xian Wu, Huifang Wang, Tunhua Wu Prediction and Analysis of Domestic Water Consumption Based on Optimized Grey and Markov Model. *Water Supply*. 2020;21;7:3887-3899. <https://doi.org/10.2166/ws.2021.146>.
12. Noori M., Emadi A., Fazloulou R. An Agent-Based Model for Water Allocation Optimization and Comparison with The Game Theory Approach. *Water Supply*. 2020;21;7:3584-3601. <https://doi.org/10.2166/ws.2021.124>.
13. Fitzgerald S.K., Owens C., Angles M., Hockaday D., Blackmore M., Ferguson M. Reframing Risk: a Risk Pathway Method for Identifying Improvement Through Control and Threat Analysis. *Water Supply*. 2018;18;1:175-182. <https://doi.org/10.2166/ws.2017.098>.
14. Kalbusch A., Ghisi E. Energy Consumption in The Life Cycle of Plumbing Fixtures. *Water Supply*. 2019;19;1:70-78. <https://doi.org/10.2166/ws.2018.053>.
15. Mangalekar R.D., Gumaste K.S. Residential Water Demand Modelling and Hydraulic Reliability in Design of Building Water Supply Systems: A Review. *Water Supply*. 2021;21;4:1385-1397. <https://doi.org/10.2166/ws.2021.021>.
16. Palod N., Prasad V., Khare R. Non-Parametric Optimization Technique for Water Distribution in Pipe Networks. *Water Supply*. 2020;20;8:3068-3082. <https://doi.org/10.2166/ws.2020.200>.
17. Shabani M., Gharneh N.S., Niaki S.T.A. Planning for Urban Water Supply–Demand Portfolio Using A Hybrid Robust Stochastic Optimization Approach. *Water Supply*. 2020;20;8:3433-3448. <https://doi.org/10.2166/ws.2020.257>.
18. Chupin R.V., Moroz M.V., Bober V.A. Substantiation of the Diameters of Pipelines of Water Supply and Wastewater Disposal Systems Based On Minimizing the Costs of Their Life Cycle. *Vodosnabzhenie i*

sanitarnaya tekhnika = *Water Supply and Sanitary Technique*. 2022;4:52-58. (In Russ.).
<https://doi.org/10.35776/VST.2022.04.07>. EDN: CIOYJH.

19. Chupin R.V., Fam N.M. Optimization of the Structure and Parameters of the Developing Group Water Supply Systems. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika* = *Water Supply and Sanitary Technique*. 2019;1:30-37. (In Russ.). EDN: VRGOFJ.

20. Chupin R.V., Moroz M.V. The Use of Road Transport in the Systems of Group Water Supply and Wastewater Disposal. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika* = *Water Supply and Sanitary Technique*. 2021;5:57-64. (In Russ.). <https://doi.org/10.35776/VST.2021.05.07>. EDN: RDVUAL.

21. Pakhomov P.I., Nemtinov V.A. *Decision Support Technology for Managing Engineering Communications*. Moscow: Mechanical Engineering, 2009. 124 p. (In Russ.).

Информация об авторах

Ярыгин Роман Николаевич,
аспирант,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: hydrig@hydrigs.ru
<https://orcid.org/0009-0009-8077-9926>
Author ID: 384518

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

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

Information about the authors

Roman N. Yarygin,
Postgraduate Student,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: hydrig@hydrigs.ru
<https://orcid.org/0009-0009-8077-9926>
Author ID: 384518

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

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

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

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

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 05.12.2023.
Одобрена после рецензирования 27.12.2023.
Принята к публикации 29.12.2023.

Information about the article

The article was submitted 05.12.2023.
Approved after reviewing 27.12.2023.
Accepted for publication 29.12.2023.

**Градостроительные факторы устойчивого развития территориальной рекреационной системы Нижнеудинского района Иркутской области****Д.В. Бобрышев^{1✉}, В.В. Усачева²**^{1,2}Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Аннотация. В статье рассматриваются градостроительные факторы развития территориальной рекреационной системы Нижнеудинского района Иркутской области с точки зрения инфраструктурной модели организации территории. Цель работы – сформировать концепцию размещения функционально-планировочных элементов рекреации и туризма на территории Нижнеудинского района с учетом сложившейся пространственной структуры расселения. Основные задачи исследования: выявление градостроительных факторов организации территориальных рекреационных систем; анализ исходной ситуации и определение перспектив развития туризма и организации отдыха на территории Нижнеудинского района; разработка концепции пространственного развития территориальной рекреационной системы на примере Нижнеудинского района. В аналитической части работы рассмотрены основные факторы планирования территориальных рекреационных систем и сложившаяся рекреационная и туристская инфраструктура района. В прикладной части сформированы концептуальные предложения по территориально-системной организации рекреационно-туристической сети Нижнеудинского района. Итогом работы являются принципиальные схемы функционально-планировочного развития территориальной рекреационной системы Нижнеудинского района в целом и его составной части Тофаларии.

Ключевые слова: территориальная рекреационная система, функциональная организация туризма, планировочная структура района, рекреация, туризм

Для цитирования: Бобрышев Д.В., Усачева В.В. Градостроительные факторы устойчивого развития территориальной рекреационной системы Нижнеудинского района Иркутской области // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 1. С. 161–171. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-1-161-171>. EDN: BSCRBX.

Original article**Urban planning factors in sustainable development of the territorial recreational system in Nizhneudinsky District of Irkutsk Oblast****Dmitriy V. Bobryshev^{1✉}, Valeria V. Usacheva²**^{1,2}Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. The article considers urban planning factors in the development of the territorial recreational system of Nizhneudinsky District (Raion) of Irkutsk Oblast from a standpoint of the infrastructure model of territorial planning. The study aims to formulate a concept for placing functional planning elements of recreation and tourism on the Nizhneudinsky District territory considering the existing spatial settlement structure. The main objectives of the study: to identify urban planning factors in the organization of territorial recreational systems; to analyze the initial situation and determine prospects for tourism and recreation development in Nizhneudinsky District; to develop a concept of spatial development of a territorial recreational system drawing on the example of Nizhneudinsky District. The analytical part of the research examines the main factors in planning territorial recreational systems and the existing recreational and tourist infrastructure of the district. The applied part of the research formulates the conceptual proposals for the territorial and systemic organization of the tourist and recreational network in Nizhneudinsky District. The result of the work is the schematic diagrams of the functional planning development of the Nizhneudinsky District territorial recreational system, as well as its constituent part Tofalariya.

Keywords: territorial recreational system, functional organization of tourism, planning structure of the district, recreation, tourism

For citation: Bobryshev D.V., Usacheva V.V. Urban planning factors in sustainable development of the territorial recreational system in Nizhneudinsky District of Irkutsk Oblast. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'* = *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(1):161-171. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-1-161-171>. EDN: BSCRBX.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы рекреация и туризм стали одними из основных предметов изучения для многих наук, поскольку они влияют практически на все стороны нашей жизни. При этом каждая наука находит свои собственные аспекты исследований вопросов организации и развития рекреационных систем. В градостроительстве эти вопросы связаны с функциональной и планировочной организацией территории.

В Иркутской области наиболее привлекательными для туризма являются Ольхонский, Слюдянский, Иркутский и Нижнеудинский районы, где сосредоточены уникальные памятники природы, богатая и разнообразная флора и фауна.

По рекреационному потенциалу муниципальные районы Иркутской области делятся на три группы. При этом к группе с самым высоким потенциалом (более 1 млн чел/сут) относится Нижнеудинский район, где могут быть развиты практически все виды отдыха, включая научно-образовательные и лечебно-оздоровительные объекты, спортивно-массовые мероприятия¹.

Цели и задачи. Основной целью в данной работе является изучение градостроительных факторов устойчивого развития территориальной рекреационной системы (TPC) на примере Нижнеудинского района с учетом ландшафтно-планировочных особенностей территории и сложившейся системы расселения.

К основным задачам исследования отнесены следующие:

- анализ сложившейся инфраструктуры рекреации и туризма и выявление потенциала развития территории;
- определение принципов пространственного развития территориальной рекреационной системы Нижнеудинского района.

В качестве основного методологического принципа исследования был выбран инфраструктурный метод² организации рекреационных систем, подразумевающий компактное

и равномерное освоение территорий, имеющих туристический потенциал и транспортную доступность.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Территориальная рекреационная система определяется как сложная, динамически развивающаяся, иерархически соподчиненная структура, основной целью функционирования и развития которой является восстановление жизненных сил человека и удовлетворение социальных запросов отдыхающих [1].

В градостроительном отношении TPC можно определить как планировочную подсистему, формируемую на определенном территориальном уровне, обладающую природно-климатическими, социокультурными ресурсами, необходимыми для развития рекреации и туризма, общей и специализированной инфраструктурой. Основным результатом функционирования данной системы является производство, формирование и предоставление туристического продукта: рекреационно-туристических услуг и товаров [1, 2].

Помимо основных функций к задачам формирования TPC относятся развитие смежных отраслей, сохранение окружающей среды и природных ценностей, повышение здоровья и занятости населения, улучшение качества жизни. К основным факторам, влияющим на организацию и развитие планировочной структуры TPC, относятся природно-климатические ресурсы, ландшафтно-планировочные условия местности, социально-экономическая структура расселения, историко-культурные, ландшафтно-композиционные и другие градостроительные особенности, определяющие величину, уникальность, функциональную специализацию и планировочную организацию TPC (рис.1) [3–5].

Одним из наиболее важных элементов функционирования туризма как социально-экономической системы являются рекреационные ресурсы. Ресурсы формируют интерес посетителей к конкретному региону и определяют их выбор для будущего путешествия.

¹Внесение изменений в схему территориального планирования Иркутской области. Т. 2. Ч. 1. Материалы по обоснованию. М., 2022. 475 с.

²Хромов Ю.Б. Организация систем отдыха, туризма и охрана природной среды на Севере. Л.: Стройиздат, 1981. 184 с.

На первых этапах исследования был проведен анализ распределения рекреационных ресурсов и связанных с этим функционально-

планировочных предпосылок организации территориальной рекреационной системы Нижнеудинского района.



Рис. 1. Градостроительные факторы организации территориальных рекреационных систем

Fig. 1. Urban planning factors of the organization of territorial recreational systems

Данный анализ включал в себя оценку исходной ландшафтно-градостроительной ситуации и существующей инфраструктуры туризма.

Нижнеудинский район расположен на западе Иркутской области, площадь территории – 50 тыс. км², население – 59 239 чел. Структура расселения района развивается преимущественно вдоль двух основных планировочных осей: Транссибирской железнодорожной магистрали и р. Уды [7].

Анализ типов ландшафтов территории и ее рельефа показывает, что в южной части района преобладают горнотаежные ландшафты Восточного Саяна, в большей мере пригодные для развития горного, спортивного, оздоровительного туризма. В северной части территории преобладают природные и антропогенные ландшафты Иркутско-Черемховской равнины (светлохвойные леса и сельскохозяйственные угодья), пригодные для развития всех направлений рекреационного использования³ [8].

Доступность территории района неравномерна и исследовалась по видам транспорта и затратам времени на перемещение. Основное внимание было уделено автотранспорту в рамках полчасовой, одно-, двух- и трехча-

совой доступности, а также железнодорожной и авиадоступности территории в пределах одного часа. В результате были определены изохроны высокой доступности (урбанизированная часть района), средней и слабой доступности (основная часть района) и труднодоступные зоны, в частности, территория Тофаларии.

В ходе исследования был проведен опрос жителей района, позволивший оценить интенсивность рекреационно-туристического использования территории и выделить преобладающие категории отдыхающих по возрасту, времени года, популярности посещения мест, степени организованности, предпочтению времяпрепровождения и видам передвижения по территории. Обобщение статистических данных представлено на рис. 2.

Комплексный анализ территории включил в себя систематизацию природных и антропогенных рекреационных ресурсов Нижнеудинского района. В рамках природных ресурсов были выделены особо охраняемые природные территории (ООПТ), расположенные в границах района, к которым относятся существующие и планируемые памятники археологии, памятники природы регионального значе-

³Иркутская область: экологические условия развития. Растительный покров: атлас / сост. и подгот. авт. кол. под ред. В.В. Воробьева. М.: Иркутск, 2004.

ния геологического, гидрологического, комплексного, ландшафтного и спелеологического профиля, в том числе существующий за-

казник федерального значения «Тофаларский» и планируемый заказник регионального значения «Удинский»⁴.

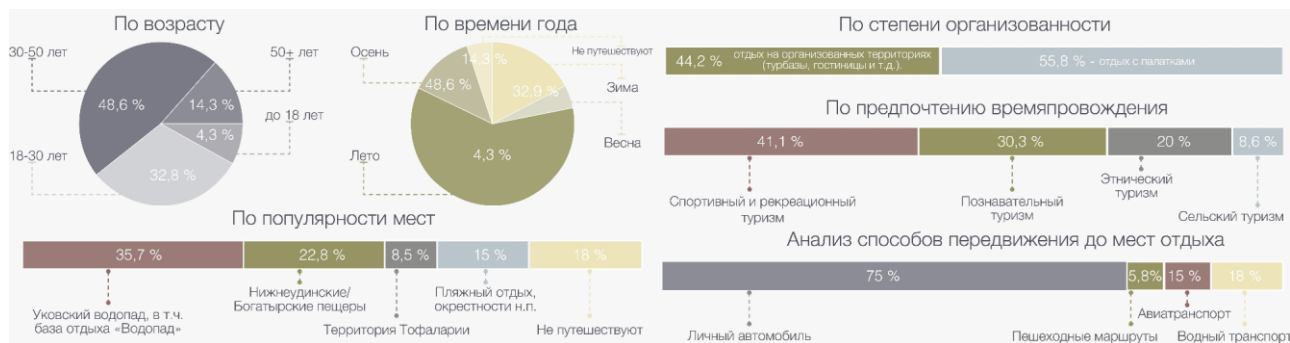


Рис. 2. Основные статистические данные опроса жителей района
Fig. 2. The main statistical data of the survey of residents of the district

Кроме ООПТ были выделены достопримечательные места, которые относятся к жизнедеятельности тофаларов и являются наиболее посещаемыми туристами и местными жителями.

Также выделены основные существующие туристические пешие и сплавные маршруты, это преимущественно маршруты вдоль р. Уды⁵.

Помимо рекреационных были выявлены основные социально-экономические и культурно-развлекательные ресурсы в населенных пунктах, входящих в зону рекреационно-туристического потенциала территории:

- транспортная инфраструктура – автомобильные дороги различных уровней обслуживания, линии железнодорожного и авиатранспорта, водные пути;

- социальная и туристическая инфраструктура – объекты здравоохранения, спорта, торговли и питания, различные музеи, гостиницы, турбазы, дома отдыха и др.;

- культурно-досуговые мероприятия, которые ежегодно проводятся на территории района: фестивали народного творчества, конкурсы профессионального мастерства и др.

Результатом предпроектного исследования стали следующие выводы:

- основными видами рекреационной деятельности на территории Нижнеудинского района на данный момент являются спортивный, познавательный, этнический туризм,

а также отдых на природе, водные походы;

- наиболее интенсивными ареалами рекреационного использования являются горно-таежные ландшафты, лесные угодья и водные объекты района, формирующие зоны спортивного (экстремального) туризма, охоты и рыбалки;

- основные планировочные оси и зоны ТРС сложились с определенной рекреационной специализацией в зависимости от ресурсного потенциала и транспортной доступности территории. Комплексный анализ современной организации ТРС Нижнеудинского района представлен на рис. 3.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

Результаты анализа показали устойчивую тенденцию к формированию ТРС Нижнеудинского района на основе инфраструктурной модели организации рекреационных систем, представляющую собой развитие в рамках существующих коридоров расселения с уже сложившейся планировочной структурой.

Также выявлены обособленные зоны труднодоступных территорий, определяющие зональные элементы в развитии системы, в частности Тофалария и долинные комплексы рек Бирюса и Гутара [7, 8].

В связи с этим в проектных решениях предлагается в целом сохранить существующую модель ТРС, где основное инфраструктурное развитие предлагается осуществлять по сложившимся двум осям: вдоль р. Уды и

⁴ООО ГМ «Линия», Внесение изменений в схему территориального планирования Нижнеудинского района Иркутской области: материалы по обоснованию схемы территориального планирования Нижнеудинского района. 2022. Т. II. 228 с.

⁵Паспорт комбинированного (пешо-водного) туристского похода 3 категории сложности, проведенного по Восточному Саяну (реки Мурхой, Гутара, Тагул) / Южное окружное управление образования Государственное бюджетное образовательное учреждение / Дом детского и юношеского туризма и экскурсий

вдоль Транссибирской железнодорожной магистрали. Организацию центров ТРС планируется размещать в местах наибольшей концентрации рекреационно-туристической деятельности путем введения рекреационных узлов четырех рангов, которые должны формироваться на основе существующих населенных пунктов.

В качестве узла первого порядка, являющегося начальной точкой организации системы, предлагается районный центр – г. Нижнеудинск, имеющий наибольшее количество социальных ресурсов и наиболее высокую до-

ступность. К узлам второго и третьего порядка, в зависимости от их доступности и инфраструктурной обеспеченности (высокой и средней), отнесены г. Алзатай, с. Худоеланское, п. Атагай, р.п. Ук, с. Порог.

Узлы четвертого порядка, как правило, имеют ограниченное число рекреационных ресурсов и низкую доступность.

Их деятельность направлена на развитие специализированных рекреационных услуг в труднодоступных зонах (охота, рыбалка, пляжный отдых).



Рис. 3. Комплексный анализ существующей организации рекреационной системы Нижнеудинского района
Fig. 3. A comprehensive analysis of the existing organization of the recreational system of the Nizhneudinsky district

В работе даны предложения по размещению функциональных зон и ареалов рекреационного использования, основывающихся на главных целях туристов. На территории района выделены зоны развития туризма ближней и дальней перспективы, которые делятся по следующим направлениям (рис. 4).

1. Зоны развития рекреационного туризма – территории, на которых могут размещаться объекты стационарного, пляжного отдыха, пеших прогулок, лагеря и базы охотников и рыболовов (развитие данной зоны предусмотрено вдоль основных осей, а также вдоль рук Бирюса и Гутара).

2. Зоны развития спортивного туризма занимают среднегорный тип ландшафта, являющийся благоприятным для альпинизма, скалолазания и ледолазания, горных походов, а также к данной зоне отнесены реки, используемые в качестве сплавных маршрутов.

3. Зоны развития познавательного туризма предусмотрены вдоль двух основных осей (в ареалах распространения соответствующих ресурсов: историко-культурных объектов, памятников природы, пещер и др), а также в центральной части Тофаларии [10].

4. Зоны развития сельского туризма предусмотрены на территориях, где сосредоточена основная сельскохозяйственная деятельность [12].

5. Зоны лечебно-оздоровительного туризма предлагается формировать в двух местах. Это г. Нижнеудинск, в границах которого расположен санаторий-профилакторий «Истоки» и в п. Шумский, где проектом предлагается восстановление ранее существовавшего профилактория с совершенствованием курортной инфраструктуры.

6. Зона транзитного туризма [6] – перспективное направление, подразумевающее создание сети коротких маршрутов, размещение объектов показа (музеев, выставок, центров отдыха и развлечений), которые могут мотивировать транзитных туристов задержаться, либо в следующий раз выбрать данную местность в качестве конечной цели путешествия.

Также на территории района выделяются два направления туризма, имеющие дальнюю перспективу развития, так как на данный момент инфраструктура для них слабо развита.

1. Зона образовательного туризма [9]. На данный момент образовательные объекты преимущественно сконцентрированы в г. Нижнеудинске. Они представлены учреждениями среднего общего и среднего специального образования. Тем не менее на территории существуют перспективы формирования спор-

тивно-образовательных и научно-образовательных центров. Проектом предлагается размещение научно-образовательной зоны в центральной части района и на территории Тофаларии с целью исследования археологии, редких видов растений, животных, состояния окружающей среды.

2. Зона делового туризма [11]. В перспективу развития данной зоны входят территории населенных пунктов, обладающие значительными производственно-деловыми и научно-исследовательскими ресурсами, расположенные преимущественно вдоль Транссибирской железнодорожной магистрали. Особое внимание в проекте уделено формированию специализированных этнокультурных зон, развитие которых предлагается осуществлять вдоль р. Уды, в населенных пунктах, где расположены центры бурятской и славянской культуры (д. Кушун и п. Атагай). Особое место в формировании данных зон занимает территория Тофаларии в границах Тофаларского, Нерхинского и Верхнегутарского муниципальных образований (МО), где проживают представители коренного малочисленного народа – тофалары [13, 14]. Проектом предлагается размещение этнографических музеев и парков, организация маршрутов и экскурсий к достопримечательным местам, обучение верховой езде на лошадях и оленях, изучение традиций местных охотников-следопытов, изготовление национальной утвари и т.д. [16, 17]. Для обеспечения связанности районного центра с территорией Тофаларии предлагается увеличение авиарейсов до данной территории, а также размещение автомобильной дороги местного значения до д. Нерха. Однако в зоне традиционного природопользования данной трассе предлагается присвоить категорию парковой дороги с определенными ограничениями для уменьшения антропогенной нагрузки на экосистему. Проектом также подразумевается развитие туристической маршрутной сети на территории района с организацией пеших, велосипедных, конных, водных, снеговых маршрутов в уже существующих и планируемых рекреационных ареалах. Необходимым условием эффективного функционирования туристических комплексов района является размещение объектов обслуживания. Проектом предусматривается такая сеть, в состав которой должны входить объекты питания, проживания отдыхающих, культурно-развлекательные и спортивные объекты, визитно-информационные центры, пункты оказания первой медицинской помощи, причалы, видовые площадки и т.д.

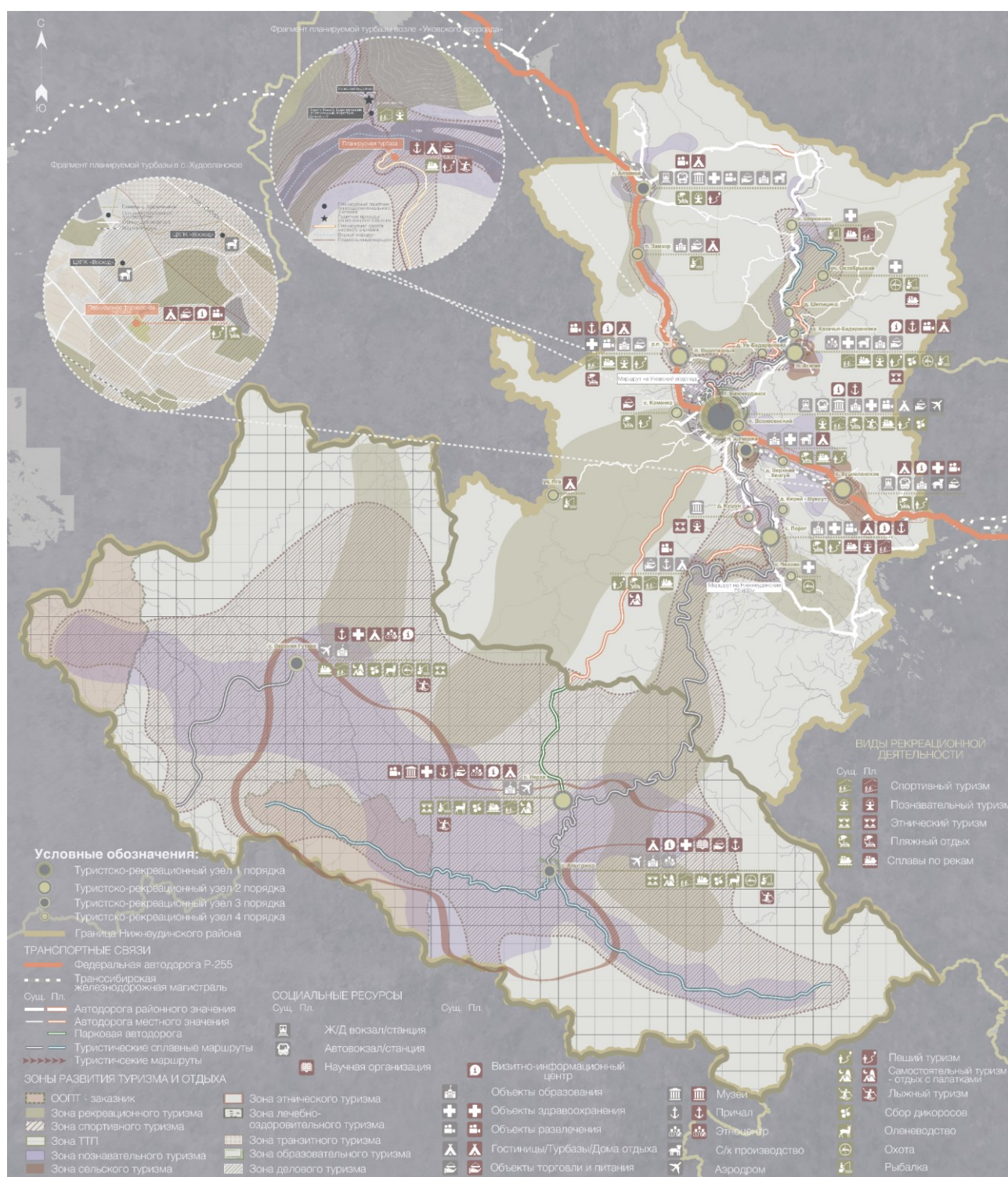


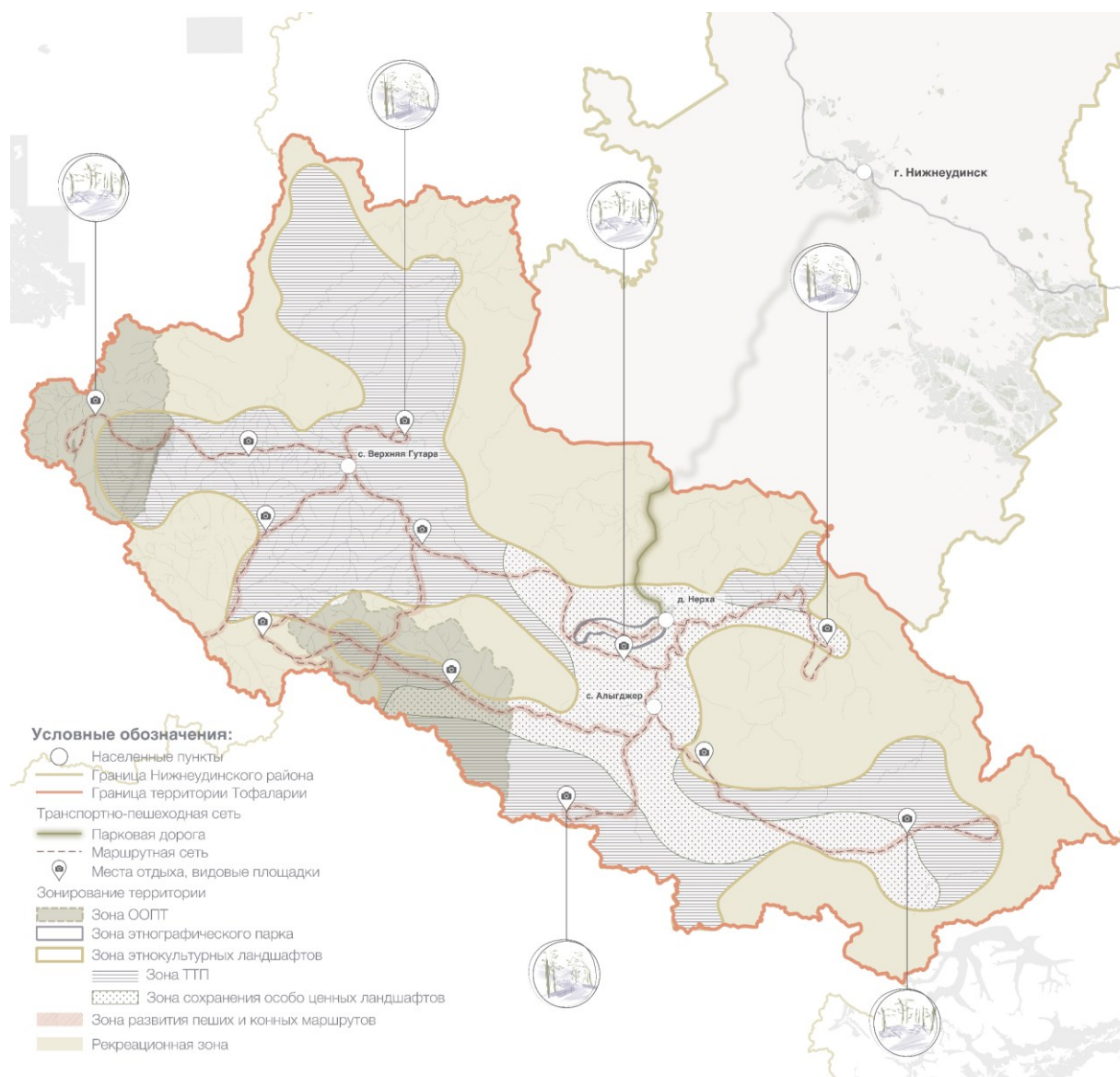
Рис. 4. Схема функционально-планировочного развития территориальной рекреационной системы Нижнеудинского района

Fig. 4. Scheme of functional and planning development of the territorial recreational system of the Nizhneudinsky district

В ходе исследования были рассмотрены вопросы организации специализированных ТРС на примере Тофаларии. Территория Тофаларии характеризуется отдаленностью от районного центра и труднодоступностью местности, что во многом определяет харак-

тер ее рекреационного освоения. Она имеет особенную экосистему и этнокультуру.

Ландшафты высокогорных районов Восточного Саяна отличаются высоким пейзажным разнообразием и уникальностью природных объектов [17].



**Рис. 5. Схема функционально-планировочного развития
 территориальной рекреационной системы Тофаларии**
**Fig. 5. Scheme of functional and planning development
 of the territorial recreational system of Tofalaria**

В ходе анализа территории была выявлена существующая структура рекреационной сети:

- исторически сложившиеся туристические маршруты;
- объекты туристического притяжения;
- территории с благоприятным климатом и высоким ландшафтным разнообразием;
- этнокультурные ландшафты.

Проектом предлагаются следующие зоны организации территориальной рекреационной системы Тофаларии (рис. 5):

- зоны ООПТ, куда входят заказник «Тофаларский» и планируемый заказник «Удинский»;

– зона этнокультурных ландшафтов, ориентированная на развитие этнического туризма, в структуре которых выделяются:

- подзона этнографического парка, предусматривающая размещение музея под открытым небом, ориентированного на сохранение культуры тофаларов, а также на развитие образовательных и развлекательных функций;
- подзона сохранения особо ценных этнических ландшафтов, ориентированных на сохранение сакральных мест тофаларов;
- подзона традиционного природопользования – оленеводство, коневодство, рыбалка, охота, сбор и переработка плодов дикорастущих растений и др.;

– зона развития пеших и конных маршрутов для осуществления бытовых и рекреационных связей;

– зона развития рекреационных функций, ориентированная преимущественно на спортивный туризм в высокогорьях Восточного Саяна.

Режимы охраны данных зон подразумевают регулирование туристических потоков, запрет геолого-разведочных работ, запрет на мероприятия по изменению почвенного покрова, растительности, рельефа [18].

Передвижение между населенными пунктами Тофаларии предполагается осуществлять за счет уже существующих видов транспорта: гужевого транспорта (оленья, собачья упряжка, верхом на конях), авиатранспорта, водного транспорта и спецтранспорта (снегоходы).

Поскольку проектом предусмотрено размещение автомобильной дороги до д. Нерха, в перспективе этот населенный пункт должен развиваться как опорный рекреационный узел

Тофаларии, где будет сосредоточена основная концентрация туристической инфраструктуры и осуществляться туристическая деятельность. На данной территории предполагается организация объектов комфортного отдыха, культурного и экологического просвещения, информационного обслуживания посетителей, а также комплексное благоустройство территории.

ВЫВОДЫ

В работе обозначены основные перспективы формирования территориальной рекреационной системы Нижнеудинского района, проведен подробный анализ рекреационных ресурсов, состава и структуры существующей туристической сети.

Предложены основные направления развития территориальной рекреационной системы района с учетом ландшафтных и градостроительных факторов ее организации. Сформулированы основные принципы зонирования уникальной рекреационной системы на примере Тофаларии.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Новикова В.И. Составляющие территориальной рекреационной системы: определение, классификация // Псковский регионологический журнал. 2013. № 16. С. 133–150. EDN: QCVNNT.
2. Полякова И.Л. Туристско-рекреационный комплекс: сущность, функции и структура // Вестник Оренбургского государственного университета. 2011. № 13 (132). С. 376–382. EDN: PEKKPP.
3. Большаков А.Г. Ландшафтно-градостроительный подход к проблемам туристического освоения Байкала // Архитектура и строительство России. 2017. № 1 (221). С. 45–52. EDN: YMVHMX.
4. Козлов В.В., Хромешкин В.М., Шагдуров А.А. Ландшафтно-эстетическая оценка прибрежных территорий отдыха в котловине озера Байкал // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2014. № 2 (85). С. 134–144. EDN: RXAAZJ.
5. Streimikienė D., Svagzdiene B., Jasinskis E., Simanavicius A. Sustainable tourism development and competitiveness: The systematic literature review // Sustainable development. 2021. Vol. 29. Iss. 1. P. 259–271. <https://doi.org/10.1002/sd.2133>.
6. Iliev D. A new framework to understand transit tourism-related issues on Pan-European transport corridors // Annals of the Austrian Geographical Society. 2021. Vol. 163. P. 371–389. <https://doi.org/10.1553/moegg163s371>.
7. Габитова В.В., Бобрышев Д.В. Градостроительные предпосылки развития туристско-рекреационной системы Нижнеудинского района Иркутской области // Градостроительство: теория, практика, образование: материалы IV Всерос. науч.-практ. конф. (г. Иркутск, 8 апреля 2022 г.). Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2022. С. 51–55. EDN: SIPQZZ.
8. Габитова В.В., Бобрышев Д.В. Концепция планировочной организации территориальной рекреационной системы Нижнеудинского района Иркутской области // Градостроительство: теория, практика, образование: материалы V Всерос. науч.-практ. конф. (г. Иркутск, 18–19 апреля 2023 г.). Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2023. С. 13–19. EDN: TBRAMB.
9. Ekasani K.A., Bhuanaputri N.K.A.W., Yosephanny P., Alberta F.J. The role of educational tourism for Indonesia development // Journal of business on hospitality and tourism. 2020. Vol. 6. Iss. 2. P. 20–26. <https://doi.org/10.22334/jbhost.v6i2>.
10. Шараева Т.П., Шипилов А.Г. Организация археологического музейного комплекса // Творчество и современность. 2018. № 3 (7). С. 48–56. EDN: YMCUWD.
11. Dragicevic V., Jovicic D., Blesic I., Stankov U., Boskovic D. Business tourism destination competitiveness: a case of Vojvodina province (Serbia) // Economic research-ekonomska istraživanja. 2012. Vol. 25. Iss. 2. P. 311–332. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2012.11517510>.

12. Chan J., Kim L. Sustainable rural tourism practices from the local tourism stakeholders perspectives // Global business finance review. 2023. Iss. 28. P. 136–149. <https://doi.org/10.17549/gbfr.2023.28.3.136>.
13. Астанин Д.М. Влияние природно-рекреационного каркаса центральной части Восточного Саяна на формирование зоны обслуживания туристов и рекреационной зоны проектируемого Саянского национального парка (биосферного резервата) // Архитектон: известия вузов. 2019. № 3 (67). С. 13. EDN: HPQPLK.
14. Carr A., Ruhanen L., Whitford M. Indigenous peoples and tourism: the challenges and opportunities for sustainable tourism // Journal of Sustainable Tourism. 2016. Vol. 24. Iss. 8-9. P. 1067–1079. <https://doi.org/10.1080/09669582.2016.1206112>.
15. Zhang S., Zhang G., Ju H. The spatial pattern and influencing factors of tourism development in the Yellow River Basin of China // PLOS ONE. 2020. Vol. 15. Iss. 11. P. e0242029. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242029>.
16. Куклина В.В. Туризм как форма межкультурного диалога в Байкальском регионе // Россия и монгольский мир: вектор на сближение (Егунзовские чтения – VII): материалы Международной научно-практической конференции в рамках XII Международного всебурятского фестиваля «Алтаргана» (г. Улан-Удэ, 29–30 июня 2016 г.). Улан-Удэ: Бурятский государственный университет, 2017. С. 85–90. <https://doi.org/10.18101/978-5-9793-0054-2-2017-85-90>. EDN: YHISHW.
17. Погодаева М.В., Хамина Н.В. Эколого-туристический потенциал Иркутской области и перспективы его развития // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология. 2022. Т. 8. № 3. С. 137–147. EDN: PBKXSD.
18. Калихман А.Д., Калихман Т.П. Предпосылки сохранения этноприродной территории «Саянский перекресток» // География и природные ресурсы. 2015. № 1. С. 62–70. EDN: TKKWEJ.

REFERENCES

1. Novikova V.I. Components of territorial recreation system: the definition and classification. *Pskovskii regionologicheskii zhurnal = Pskov journal of regional studies*. 2013;16:133-150. EDN: QCVNNT.
2. Polyakova I.L. Tourist and recreational complex: essence, functions and structure. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta = Vestnik of the Orenburg State University*. 2011;13:376-382. EDN: PEKKPP.
3. Bolshakov A.G. Landscape regional planning approach to Baikal tourism development challenges. *Arkhitektura i stroitel'stvo Rossii*. 2017;1:45-52. (In Russ.). EDN: YMVHMX.
4. Kozlov V.V., Khromeshkin V.M., Shagdurov A.A. Landscape and aesthetic evaluation of coastal recreation areas in the lake Baikal depression. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2014;2:134-144. (In Russ.). EDN: RXAAZJ.
5. Streimikiene D., Svagzdiene B., Jasinskas E., Simanavicius A. Sustainable tourism development and competitiveness: The systematic literature review. *Sustainable development*. 2021;29(1):259-271. <https://doi.org/10.1002/sd.2133>.
6. Iliev D. A new framework to understand transit tourism-related Issues on Pan-European transport corridors. *Annals of the Austrian Geographical Society*. 2021;163:371-389. <https://doi.org/10.1553/moegg163s371>.
7. Gabitova V.V., Bobryshev D.V. Town-planning prerequisites for the development of the tourist and recreational system of the Nizhneudinsky district of the Irkutsk region. In: *Gradostroitel'stvo: teoriya, praktika, obrazovanie: materialy IV Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Town-planning: theory, practice, education: materials of the IV All-Russian Scientific and Practical Conference*. 8 April 2022, Irkutsk. Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University; 2022. p. 51-55. (In Russ.). EDN: SIPOZZ.
8. Gabitova V.V., Bobryshev D.V. Concept of the planning organization of the territorial recreational system of the Nizhneudinsky district of the Irkutsk region. In: *Gradostroitel'stvo: teoriya, praktika, obrazovanie: materialy IV Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Town-planning: theory, practice, education: materials of the IV All-Russian Scientific and Practical Conference*. 18-19 April 2023, Irkutsk. Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University; 2023. p. 13-19. (In Russ.). EDN: TBRAMB.
9. Ekasani K. A., Bhuanaputri N. K. A. W., Yosephanny P., Alberta F. J. The role of educational tourism for Indonesia development // Journal of Business on Hospitality and Tourism. 2020;6(2):20-26 <https://dx.doi.org/10.22334/jbhost.v6i2>.
10. Sharaeva T.P., Shipilov A.G. Organization of archaeological – museum complex. *Tvorchestvo i sovremennost' = Creativity and modernity*. 2018;3:48-56. (In Russ.). EDN: YMCUWD.
11. Dragicevic V., Jovicic D., Blesic I., Stankov U., Boskovic D. Business tourism destination competitiveness: a case of Vojvodina province (Serbia). *Economic research-ekonomska istrazivanja*. 2012;25(2): 311-332. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2012.11517510>.
12. Chan J., Kim L. Sustainable rural tourism practices from the local tourism stakeholders perspectives. *Global business finance review*. 2023;28:136-149. <https://doi.org/10.17549/gbfr.2023.28.3.136>.
13. Astanin D.M. The influence of the natural and recreational framework of the central part of the Eastern Sayan on the formation of the tourist service zone and the recreational zone of the projected Sayan National

Park (Biosphere Reserve). *Arkhitekton: izvestiya vuzov* = *Architecton: proceedings of higher education*. 2019;3:13. (In Russ.). EDN: HPQPLK.

14. Carr A., Ruhanen L., Whitford M. Indigenous peoples and tourism: the challenges and opportunities for sustainable tourism. *Journal of Sustainable Tourism*. 2016;24(8-9):1067-1079. <https://doi.org/10.1080/09669582.2016.1206112>.

15. Zhang S., Zhang G., Ju H. The spatial pattern and influencing factors of tourism development in the Yellow River Basin of China. *PLOS ONE*. 2020;15(11):e0242029. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242029>.

16. Kuklina V.V. Tourism as a form of intercultural dialogue in the Baikal region. In: *Russia and the Mongolian world: a vector for rapprochement (Egunov Readings - VII): Collection of articles of the international scientific and practical conference within the framework of the XII International All-Buryat Festival "Altargana" = Russia and the Mongolian world: a vector for rapprochement (Egunov Readings - VII): materials of the International scientific and practical Conference within the framework of the XII International All-Buryat Festival "Altargana"*. 29-30 June 2016, Ulan-Ude. Ulan-Ude: Buryat State University; 2017. p. 85–90. <https://doi.org/10.18101/978-5-9793-0054-2-2017-85-90>. (In Russ.). EDN: YHISHW.

17. Pogodaeva M.V., Khamina N.V. Ecological and tourist potential of the Irkutsk region and prospects for its development. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya*. 2022;8(3):137-147. (In Russ.). EDN: PBKXSD.

18. Kalikhman A.D., Kalikhman T.P. Prerequisites for the preservation of the ethno-natural territory "Sayansky Crossroads". *Geografia i prirodnye resursy*. 2015;1:62-70. (In Russ.). EDN: TKKWEJ.

Информация об авторах

Бобрышев Дмитрий Валерьевич,
кандидат архитектуры, доцент кафедры
архитектуры и градостроительства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
✉e-mail: dbobryshev12@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0003-0509-3149>
Author ID: 688622

Усачева Валерия Вадимовна,
магистрант,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: lera.gabitova.00@bk.ru
<http://orcid.org/0009-0005-8648-0109>
Author ID: 1221738

Information about the authors

Dmitriy V. Bobryshev,
Cand. of Architecture, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of
Architecture and Urban Planning,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
✉e-mail: dbobryshev12@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0003-0509-3149>
Author ID: 688622

Valeria V. Usacheva,
Master Degree Student,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: lera.gabitova.00@bk.ru
<http://orcid.org/0009-0005-8648-0109>
Author ID: 1221738

Вклад авторов

Авторы имеют равные авторские права и несут
равную ответственность за плагиат.

Contribution of the authors

The authors have equal author's rights and 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 окончатель-
ный вариант рукописи.

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

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 11.12.2023.
Одобрена после рецензирования 29.12.2023.
Принята к публикации 16.01.2024.

Information about the article

The article was submitted 11.12.2023.
Approved after reviewing 29.12.2023.
Accepted for publication 16.01.2024.

**Модель современного лечебно-оздоровительного комплекса «Кайласу»
в пос. Корфовский в Хабаровском крае****М.П. Гришина¹, А.Е. Михайлова²✉**¹Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Россия²ООО «Архикон», г. Казань, Россия

Аннотация. Актуальность данного исследования заключается в росте интереса людей к здоровому и полезному отдыху, что связано с развитием регионального туризма, появлением доступной архитектурной среды. Создание новой модели современного лечебно-оздоровительного комплекса и грамотное благоустройство прилегающей к нему территории, помогающей повысить функциональную комфортность, окажет благоприятное воздействие на повышение туристической привлекательности места. Целью исследования является разработка модели современного ведомственного лечебно-оздоровительного комплекса с учетом ландшафтно-климатических условий Дальнего Востока с возможностью восстановления и реабилитации военнослужащих после госпитализации. К методам данной статьи относятся: комплексный анализ местности – по методике SWOT; разработка генерального плана территории; проектирование типовой планировочной структуры и формы здания с учетом особенностей ландшафта. В работе рассмотрена внутренняя и внешняя среда территории, выявлены сильные и слабые стороны, угрозы и возможности. Предложен проект развития территории, включающий устройство парковых зон с благоустройством водоема, разработку оздоровительных маршрутов, зонирование территории. Основной особенностью предлагаемого проекта лечебно-оздоровительного комплекса является его модульность – он состоит из автономных секций, каждая из которых принимает сейсмическое воздействие, независимо от других. Кроме того, в проектом решении предусмотрено использование сейсмически устойчивых конструкций здания.

Ключевые слова: лечебно-оздоровительный комплекс, санаторий, курортно-оздоровительное учреждение, лечебный туризм, Дальний Восток

Для цитирования: Гришина М.П., Михайлова А.Е. Модель современного лечебно-оздоровительного комплекса «Кайласу» в пос. Корфовский в Хабаровском крае // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 1. С. 172–182. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-1-172-182>. EDN: ELLWRD.

Original article**A model of the modern medical and recreational complex Kailasu
in the settlement of Korfovsky in Khabarovsk Krai****Maria P. Grishina¹, Anna E. Mikhailova²✉**¹Kazan State University of Architecture and Civil Engineering, Kazan, Russia²LLC «Archicon», Kazan, Russia

Abstract. The relevance of this study lies in the growing interest of people in healthy and wholesome recreation, which is associated with the development of regional tourism and the emergence of an accessible architectural environment. Creating a new model of a modern medical and recreational complex and appropriate landscaping of the adjacent territory, which helps to increase the functional comfort, will produce a beneficial effect on increasing the tourism attractiveness of the place. The study aims to develop a model of a modern departmental medical and recreational complex taking into account the landscape and climatic conditions of the Far East allowing for the recovery and rehabilitation of military personnel after hospitalization. The research consisted in performing a

comprehensive analysis of the area using a SWOT matrix. Moreover, a site plan of the territory was developed. The typical planning structure and the building form were designed considering the landscape features. Results. The internal and external environment of the territory was examined; its strengths and opportunities, as well as weaknesses and threats were identified. The article proposes a territory development project, including the arrangement of park areas with the water body improvement, the development of recreational routes, and zoning of the territory. The main specific feature of the proposed project is its modularity. The medical and recreational complex consists of autonomous sections; each section takes seismic impact independently of the others. Additionally, the design decision provides for the use of seismically resistant building structures.

Keywords: medical and wellness complex, sanatorium, health resort, medical tourism, the Far East

For citation: Grishina M.P., Mikhailova A.E. A model of the modern medical and recreational complex Kailasu in the settlement of Korfovsky in Khabarovsk Krai. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(1): 172-182. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-1-172-182>. EDN: ELLWRD.

ВВЕДЕНИЕ

Лечебно-оздоровительный комплекс (ЛОК) – учреждение, относящееся к типу санаторно-курортных здравниц. В ЛОК для лечения и профилактики заболеваний используют главным образом природные факторы (климат, минеральные воды, лечебные грязи, морские купания и т. п.) в сочетании с лечебной физкультурой, физиотерапией и рациональным питанием (диетой) при соблюдении определенного режима лечения и отдыха [1–3]. Использование природных ресурсов в качестве лечения актуально на сегодняшний день, так как это экологично и экономично, поэтому проектирование оздоровительных учреждений является необходимым [4–6].

На архитектуру оздоровительных комплексов влияют ландшафт территории, климат, региональная застройка, количество населения в доступном радиусе, наличие учреждений санаторно-курортного типа, специализирующихся на тех же принципах лечения [7–9]. Расположение лечебно-оздоровительного комплекса вблизи неразвитых населенных пунктов оказывает воздействие на застройку всего прилегающего района, а иногда само здание становится его композиционным и туристическим центром. Примерами таких центров могут служить города-курорты – Кисловодск, Железноводск, санатории Крымского полуострова [10–12].

Одной из наиболее острых проблем развития лечебно-оздоровительных комплексов на Дальнем Востоке на сегодняшний день является отсутствие организованной системы санитарного контроля [13, 14], ухудшение экологического состояния среды, функционирующие «санатории-призраки» (учреждения, предоставляющие услуги оздоровления на базе существующего природного потенциала, но не

занимающиеся развитием благоустройства, реставрацией архитектурного облика) [15, 16].

Цель исследования – разработать модель современного ведомственного лечебно-оздоровительного комплекса с учетом ландшафтно-климатических условий Дальнего Востока с возможностью восстановления и реабилитации военнослужащих после госпитализации.

К задачам данной статьи относятся:

- комплексный анализ территории по методике SWOT;
- разработка генерального плана территории;
- разработка типовой планировочной структуры и формы здания с учетом особенностей ландшафта.

МЕТОДЫ

Для проектирования выбрана территория, входящая в состав пос. Корфовский, находящегося в 12 км от г. Хабаровска. Площадь поселка – 83,89 км². С запада он огорожен горными хребтами отрогов Сихотэ-Алиня, с юго-востока – кочковатыми равнинами и р. Чирки. Со станции Хабаровск путь к поселку лежит через лесную группу Хехцирских холмов и сопок.

В качестве основных использовались следующие методы:

- анализ зарубежных и российских публикаций в исследуемой области;
- SWOT-анализ;
- натурных исследований;
- архитектурного проектирования.

Контент-анализ статей состоит из нескольких этапов:

- поиск публикации по ключевым словам и словосочетаниям в базах e-library, Scopus;
- изучение аннотаций и основных выводов;
- чтение статьи с выделением основных положений.

Метод натурных наблюдений предполагает выезд на анализируемую территорию, рекогносцировочное обследование, фотофиксацию.

SWOT-анализ включает в себя:

- анализ территории по результатам натурных исследований – сильные и слабые стороны;
- исследование перспективных планов развития территории, законодательной базы, мер государственной поддержки, миграционных потоков для выявления возможностей и угроз.

Метод архитектурного проектирования включает в себя несколько стадий:

- изучение нормативных источников;
- подготовка концепции проектируемого объекта;
- разработка эскизного проекта в произ-

вольном поисковом масштабе.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проектируемая территория представляет природный ландшафт на южном склоне. Перепад высот между самой высокой отметкой на территории (210) и самой низкой отметкой (100) составляет 110 м. Уклон рельефа – на запад. Территория включает в себя озеро площадью 930 м². Неподалеку расположен частный сектор, представленный ветхим жилым фондом.

Загруженность дорог невысокая. На опорном плане указаны видовые точки фотофиксации, существующий рельеф, водоем и границы проектирования (рис.1).

Комплексный анализ территории позволил выявить сильные и слабые стороны, а также угрозы и возможности развития (SWOT) (табл. 1).



Рис. 1. Фотофиксация территории: 1–4 – видовые точки обзора с востока на отметке 100; 5, 9 – видовые точки с северо-западной стороны на отметке 240; 6–8 – видовые точки с юго-восточной стороны (иллюстрация авторов)
Fig.1. Photographic recording of the territory: 1–4 – view points from the east at level 100; 5,9 –view points on the northwestern side at level 240; 6–8 – view points from the south-east side (authors' illustration)

Таблица 1. SWOT-анализ территории будущего расположения лечебно-оздоровительного комплекса

Table 1. SWOT analysis of the territory where the future medical and health complex will be located

Наименование	Характеристика
Сильные стороны	круглогодичное лечение; территориальная доступность; близкое расположение к п. Корфовский; привлекательный пейзаж; отсутствие вредных производственных выбросов; близкое расположение минеральных источников; расположение в зоне хвойных лесов; холмистая местность
Слабые стороны	сложные климатические условия для строительно-монтажных работ в условиях промерзания грунта; неразвитые инженерные коммуникации; невысокая численность проживающего на территории населения; грунтовая дорога, проходящая вдоль выбранной территории, располагается в 30 м от водоема (ближайшая автобусная остановка находится на расстоянии 900 м)
Возможности	развитие регионального туризма, в том числе лечебно-оздоровительного; развитие природно-рекреационных зон Хабаровского края
Угрозы	оползни; низкая платежеспособность населения; сейсмическая активность; вымирание пос. Корфовский

Таким образом, SWOT-анализ позволил определить основные направления лечения в рассматриваемом ЛОК. Они должны быть связаны с оздоровлением опорно-двигательного аппарата, сердечно-сосудистой, костно-мышечной, нервной и дыхательной систем.

Хвойные растения, выделяющие фитонциды, благоприятно влияют на нервную систему, а холмистая местность позволяет создать терренкуры на легкие, средние и сложные маршруты, рассчитанные на людей с болезнями опорно-двигательного аппарата, сердечно-сосудистой, костно-мышечной, нервной и дыхательной систем [17, 18].

При этом угрозы и слабые стороны предполагают разработку особых проектных решений, учитывающих вероятность появления оползней, защиту от сейсмических воздействий с учетом промерзаний грунтов, развитие дорожно-тропиночной сети.

С учетом результатов анализа был предложен проект развития территории, предполагающий:

- устройство парковых зон с благоустройством пруда на месте существующего водоема;
- создание оздоровительных маршрутов на разные дистанции с террасированием рельефа;
- зонирование территории с выделением мест активного и пассивного отдыха с сохра-

нением существующих хвойных деревьев;

– создание пляжных зон как для постояльцев комплекса, так и для посетителей парка неподалеку от территории ЛОК.

Коллаж вариантов дизайна территории представлен на рис. 2. Композиционным центром территории является проектируемое здание лечебно-оздоровительного комплекса. Оно по очертаниям напоминает дракона, спящего на холме – отсылка к легенде нанайцев – коренных жителей Хабаровского края. В решении фасадов используется суперграфика по нанайским национальным мотивам (рис. 3) [19–21]. При проектировании здания особое внимание было уделено организации эвакуационных выходов, рассчитанных на 500 отдыхающих с разной степенью мобильности.

В каждом из корпусов создаются главные входы, оборудованные средствами для комфортного, беспрепятственного и удобного доступа маломобильных групп населения (МГН).

Помимо основных входов предусматриваются эвакуационные выходы из лестничных клеток, обеспечивающие быструю эвакуацию из распределительных пространств корпуса оздоровления, корпуса реабилитации, а также из жилого корпуса.

Кроме того, запланирован пожарный проезд к пищевому блоку столовой № 1 с северо-западной стороны и к пищевому блоку № 2 с восточной стороны здания (рис. 4).



Рис. 2. Образный коллаж территории (авторская иллюстрация)
Fig. 2. Imaginative collage of territory (authors' illustration)



Рис. 3. Фасад здания (выполнено авторами)
Fig.3. Building facade (done by the authors)

Парковка располагается рядом с лечебно-оздоровительным комплексом со стороны главного вестибюля: 25 парковочных мест для посетителей и 15 парковочных мест для пер-

сонала¹. Для гостей южной пляжной зоны и парка, располагающихся за основной территорией комплекса, предусмотрена парковка на 20 мест.

¹СП 42.13330.2011. Свод правил. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89* (утв. Приказом Минрегиона РФ от 28.12.2010 N 820) // Кодекс. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200084712> (дата обращения: 30.11.2023).

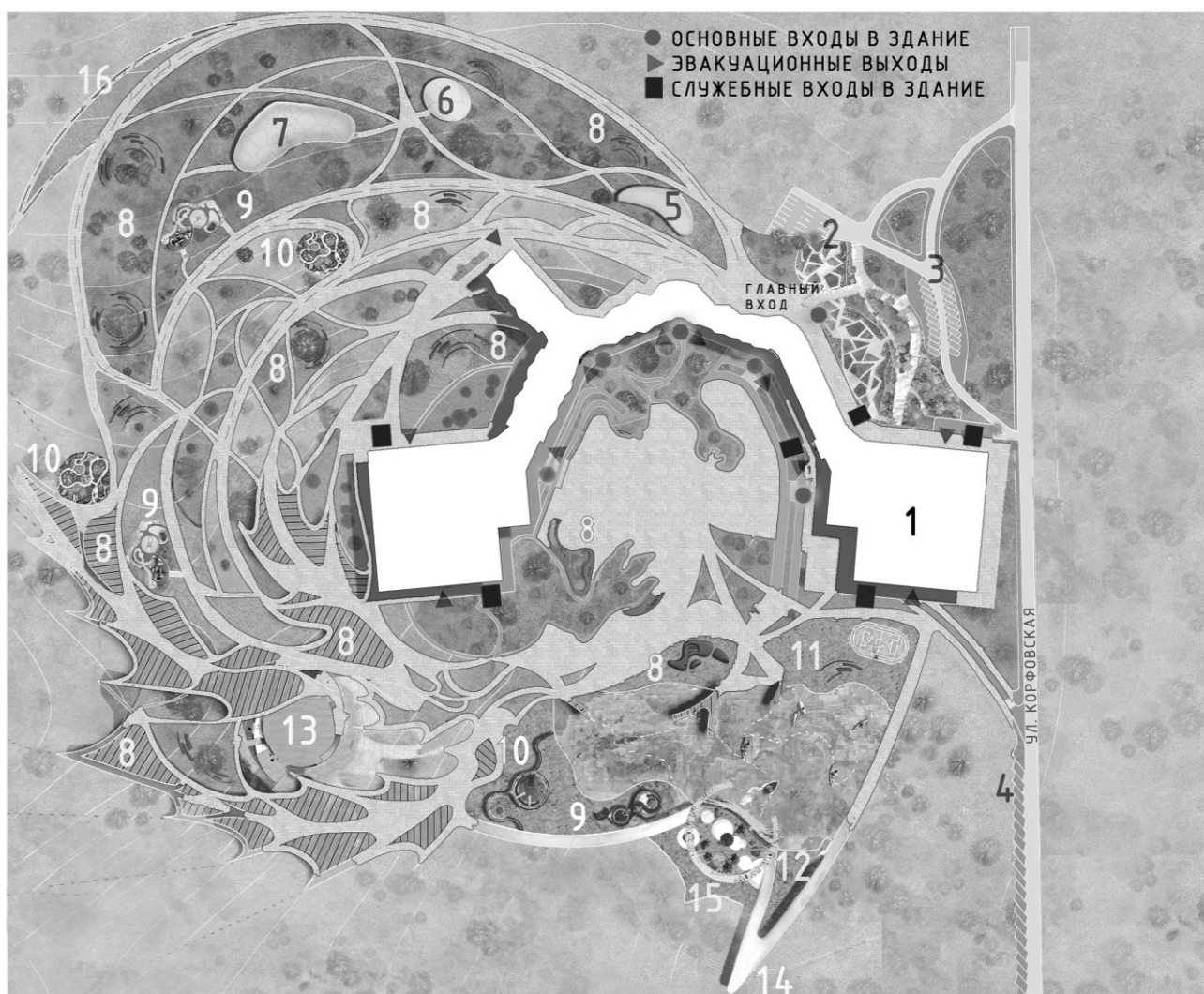


Рис. 4. Схема путей эвакуации, генеральный план (авторская иллюстрация):

1 – здание лечебно-оздоровительного комплекса;
2 – парковка для персонала; 3 – парковка для гостей комплекса; 4 – парковка для посетителей парка; 5 – павильон скейт-парк; 6 – павильон для занятий йогой;
7 – павильон для игры в теннис; 8 – зона отдыха; 9 – игровая площадка для детей 3–7 лет; 10 – игровая площадка для детей 7–12; 11 – зона активного отдыха; 12 – пляж; 13 – летняя сцена; 14 – парящий мост; 15 – набережная; 16 – терренкур-тропа;

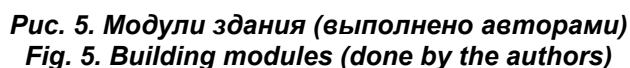
Fig. 4. Evacuation route diagram, general plan (authors' illustration): 1 – the building of the health and wellness complex; 2 – parking for staff; 3 – parking for guests of the complex; 4 – parking for park visitors; 5 – skate park pavilion; 6 – yoga pavilion; 7 – tennis pavilion; 8 – recreation area; 9 – playground for children from 3–7 years old; 10 – playground for children from 7–12 years old; 11 – active recreation area; 12 – beach; 13 – summer stage; 14 – floating bridge; 15 – embankment; 16 – terracourt trail

Основной особенностью предлагаемого проекта здания лечебно-оздоровительного комплекса является его модульность – он состоит из автономных секций, каждая из которых принимает сейсмическое воздействие, независимо от других. Кроме того, в проектом решении предусмотрено использование сейсмически устойчивых конструкций здания.

На рис. 5 показано, как секции соединяют-

ся между собой буферными помещениями холлов, которые служат переходами из одной секции в другую. Сами секции остаются независимыми друг от друга, имеют отдельные входы и подключения в инженерные сети.

Таким образом, исключается цепная реакция при аварии или стихийном бедствии, но целостность здания лечебно-оздоровительного комплекса сохраняется.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Угрозы представляют собой оползни и сейсмическая опасность территории. Возможности связаны с развитие рекреационных зон и регионального туризма в Хабаровском крае [22–24].

2. Предложен проект развития территории, включающий устройство парковых зон с благоустройством водоема, разработку оздоровительных маршрутов на разные дистанции с террасированием рельефа, зонирование территории с сохранением существующих хвойных деревьев и создание пляжных зон [12, 27].

3. Разработан проект здания лечебно-оздоровительного комплекса, основной особенностью которого является его модульность, независимость секций здания друг от друга. Каждый модуль будет отдельно реагировать на сейсмические воздействия [28, 29].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Маркина К.Г., Моргун Н.А. Особенности территориально-функционального формирования приморских санаторно-курортных учреждений юга России // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2021. № 8-1 (110). С. 109–117. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.110.8.016>.
2. Zheng L., Lai J. Environmental and economic evaluations of building energy retrofits: Case study of a commercial building // *Building and Environment*. 2018. Vol. 145. P. 14–23. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.09.007>.
3. Woo J.H., Menassa C. Virtual retrofit model for aging commercial buildings in a smart grid environment // *Energy and Buildings*. 2014. Т. 80. P. 424–435. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.05.004>.
4. Оборин М.С. Роль природных лечебных ресурсов регионов страны в повышении качества санаторно-курортных услуг для семейного отдыха // *Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология. Науки о Земле»*. 2019. № 3. С. 407–416. <https://doi.org/10.35634/2412-9518-2019-29-3-407-416>. EDN: RCGGBT.
5. Завгорулько В.Н., Чернов В.А. Экологический и этнографический туризм: становление, проблемы и перспективы развития: материалы Всероссийской научно-практической конференции (г. Хабаровск, 09 октября 2009 г.). Хабаровск: Дальневосточный государственный университет путей сообщения, 2009. 211 с. EDN: XWTWQP.
6. Скрыбин П.В. Предпосылки и ограничения градостроительного освоения ландшафтов рекреационного пояса в системе расселения Сибири // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2019. № 1. С. 18–28. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2019-21-1-18-28>. EDN: YXEMQN.
7. Николаева А.С., Колодин К.И. Принципы формирования архитектуры туристических комплексов в щадящем режиме освоения озера Байкал // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2021. № 2. С. 24–32. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2021-23-2-24-32>. EDN: SKUANY.
8. Cylus J., Richardson E., Findley L., Longley M., O'Neill C., Steel D. United Kingdom: Health System Review // *Health Systems in Transition*. 2015. Vol. 17. No. 5. 154 p. <https://iris.who.int/handle/10665/330250>.
9. Красильникова Э.Э., Журавлева И.В., Заика И.А. Создание лечебного и терапевтического ландшафтов: опыт проектирования // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство*. 2021. № 3. С. 238–254. <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2021-16-3-238-254>. EDN: IKNBCJ.
10. Романова О.А. Правовые проблемы регулирования застройки территорий курортов и лечебно-оздоровительных местностей // *Актуальные проблемы российского права*. 2019. № 3 (100). С. 200–208. <https://doi.org/10.17803/1994-1471.2019.100.3.200-208>. EDN: VRCWSE.
11. Токарев А.Г., Сидоренко Н.Р. Санаторий «Ударник» в Железноводске: о влиянии градостроительных факторов на архитектуру // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2020. № 9. С. 37–45. <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2020-5-9-37-45>. EDN: JKGBVU.
12. Балакина А.Е., Самылова И.С. Реконструкция санаторного фонда республики Крым с учетом оценки инвестиционной привлекательности // *Вестник МГСУ*. 2020. Т. 15. № 10. С. 1353–1362. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2020.10.1353-1362>. EDN: JTQPM.
13. Долинская И.М., Хоперскова А.А. Развитие лечебно-оздоровительного туризма на Дальнем Востоке с привлечением нетрадиционных медицинских практик буддийских центров – дацанов как фактор реализации градостроительных ресурсов территорий // *Universum: технические науки*. 2022. № 10-2 (103). С. 33–42. <https://doi.org/10.32743/UniTech.2022.103.10.14401>. EDN: EWFWD.
14. Пужкина А.А., Ким А.А. Санаторно-оздоровительная среда города Хабаровска. Основные тенденции развития // *Урбанистика*. 2023. № 2. С. 16–28. <https://doi.org/10.7256/2310-8673.2023.2.40061>. EDN: RXOSZJ.
15. Bauer I. The health impact of tourism on local and indigenous populations in resource-poor countries // *Travel medicine and infectious disease*. 2008. Vol. 6. Iss. 5. P. 276–291. <https://doi.org/10.1016/j.tmaid.2008.05.005>.
16. Loehr J., Dwipayanti N.M.U., Nastiti A., Powell B., Hadwen W., Johnson H. Safer destinations, healthier staff and happier tourists: Opportunities for inclusive water, sanitation and hygiene in tourism // *Tourism management perspectives*. 2021. Vol. 40. P. 100883. <https://doi.org/10.1016/j.tmp.2021.100883>.
17. Grishina M. Analysis of the Functional Planning Development of Cities in the USSR on the Example of Kazan // *Proceedings International scientific conference on socio-technical construction and civil engineer-*

- ing. Cham: Springer. 2021. Vol 169. https://doi.org/10.1007/978-3-030-80103-8_11.
18. Hong Y., Ezech C.I., Deng W., Hong S.H., Ma Y., Tang Y., et al. Coordinated energy-environmental-economic optimisation of building retrofits for optimal energy performance on a macro-scale: A life-cycle cost-based evaluation. *Energy Conversion and Management*. Vol. 243. Iss. 4. P. 114327. <http://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114327>.
19. Mikhailov S., Khafizov R., Mikhailova A., Nadyrshina N., Nadyrshina L. Supergraphics as a project and artistic method in design of a modern city // IOP conference series: materials science and engineering (Kazan, 29 April 2020). 2020. Vol. 890. P. 012003. Kazan: IOP Science, 2020. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/890/1/012003>. EDN: EYRMPS.
20. Rafikov I. Synthesis of the technique of academic architectural drawing and architectural fantasy in composite openings as an invariant of professional training of future architects // E3S Web of Conferences: 2nd International scientific conference on socio-technical construction and civil engineering (Kazan, 21–28 April 2021). France: EDP Sciences, 2021. Vol. 274. P. 1038. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127401038>. EDN: MVTSRB.
21. Kinosyan N., Bashirova E. The architecture of spectacular buildings in the city of Kazan in the context of national and regional traditions // E3S Web of Conferences: 2nd International scientific conference on socio-technical construction and civil engineering (Kazan, 21–28 April 2021). France: EDP Sciences, 2021. Vol. 274. P. 1016. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127401016>. EDN: QIPDUO.
22. Xie J., Zhong Yu., Xiao T., Wang Zheng, Junguo Zh., Wang T., Schuller B. A multi-information fusion model for short term load forecasting of an architectural complex considering spatio-temporal characteristics // *Energy and Buildings*. 2022. Vol. 277. P. 112566. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112566>.
23. Khalil Idrissi Gartoumi, Smail Zaki, Mohamed Aboussaleh. Building information modelling (BIM) interoperability for architecture and engineering (AE) of the structural project: A case study // *Materials Today: Proceedings*. 2023. Iss 5. P. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.05.408>.
24. Sommesse F., Badarnah L., Ausiello G. A critical review of biomimetic building envelopes: towards a bio-adaptive model from nature to architecture // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2022. Vol. 169. P. 112850. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112850>.
25. Перов А.Ф., Завьялова Е.В. Потенциал развития пригородных рекреационных зон Санкт-Петербурга. На примере территории, расположенной на границе пос. Зеленогорск и Ушково, Курортного района // *Инновации и инвестиции*. 2022. № 12. С. 165–168. EDN: JPGFFN.
26. Тихова Ю.Л., Кулеева Л.М. Построение системы классификаций открытых архитектурных пространств // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2020. № 1 (51). С. 27–35. EDN: AJORYN.
27. Садовая М.М. Типы размещения высокотехнологичных медицинских учреждений на примере города Новосибирска // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2014. № 2 (43). С. 53–59. EDN: RZPBXN.
28. Веркалец И.М. Принципы и методы архитектурно-планировочной организации рекреационных ландшафтов с учетом эстетики природной окружающей среды // *Architecture and modern information technologies (AMIT)*. 2014. №1 (26). С. 1–15.
29. Ирхина К.С., Моргун Н.А. Формирование санаторно-курортного комплекса на черноморском побережье Республики Крым, города Саки // *Инженерно-строительный вестник Прикаспия*. 2019. № 1 (27). С. 83–90. EDN: TKNWVR.

REFERENCES

1. Markina K.G., Morgun N.A. Features of the territorial and functional formation of seaside health resort institutions in the south of Russia. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal = International research journal*. 2021;8-1:109-117. (In Russ.). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.110.8.016>.
2. Zheng L., Lai J. Environmental and economic evaluations of building energy retrofits: Case study of a commercial building. *Building and Environment*. 2018;145:14-23. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.09.007>.
3. Woo J.H., Menassa C. Virtual retrofit model for aging commercial buildings in a smart grid environment. *Energy and Buildings*. 2014;80:424-435. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.05.004>.
4. Oborin M.S. The role of natural healing resources of the country's regions in improving the quality of spa services for families. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya «Biologiya. Nauki o Zemle» = Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences*. 2019;3:407-416. (In Russ.). <https://doi.org/10.35634/2412-9518-2019-29-3-407-416>. EDN: RGCGBT.
5. Zavgorudko V.N., Chernov V.A. Ecological and ethnographic tourism: formation, problems and prospects of development: materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = materials of the All-Russian Scientific and practical conference. 09 October 2009, Khabarovsk. Khabarovsk: Far Eastern State University of Railway Engineering; 2009. 211 p. EDN: XWTWQP.

6. Skryabin P.V. Prerequisites and limitations of urban landscape development in Siberia. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta = Journal of Construction and Architecture*. 2019;(1):18-28. (In Russ.). <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2019-21-1-18-28>. EDN: YXEMQH.
7. Nikolaeva A.S., Kolodin K.I. Sparingly developed tourist places on lake Baikal. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta = Journal of Construction and Architecture*. 2021;2:24-32. (In Russ.). <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2021-23-2-24-32>. EDN: CKUAHY.
8. Cylus J., Richardson E., Findley L., Longley M., O'Neill C., Steel D. United Kingdom: Health System Review // *Health Systems in Transition*. 2015;17(5):154. <https://iris.who.int/handle/10665/330250>.
9. Krasilnikova E.E., Zhuravleva I.V., Zaika I.A. Creating healing and therapeutic landscapes: design experience. *Vestnik Rossiiskogo universiteta družby narodov. Seriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo*. 2021;3:238-254. (In Russ.). <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2021-16-3-238-254>. EDN: IKNBCJ.
10. Romanova O.A. Legal issues of the development of resorts and medical and recreational areas regulation. *Aktual'nye problemy rossiiskogo prava = Actual problems of Russian law*. 2019;3:200-208. (In Russ.). <https://doi.org/10.17803/1994-1471.2019.100.3.200-208>. EDN: VRCWSE.
11. Tokarev A.G., Sidorenko N.R. "Udarnik" sanatorium in Zheleznovodsk: about influence of urban-planning factors on architecture. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova = Bulletin of Belgorod state technological university named after V.G. Shukhov*. 2020;9:37-45. (In Russ.). <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2020-5-9-37-45>. EDN: JKGBVU.
12. Balakina A. E., Samylova I. S. Reconstruction of the sanatorium fund of the republic of Crimea taking into account the assessment of investment attractiveness. *Vestnik MGSU*. 2020;15(10):1353-1362. (In Russ.). <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2020.10.1353-1362>. EDN: JTQPVM.
13. Dolinskaia I.M., Khoperskova A.A. Medical and health tourism with the involvement of non-traditional medical practices of buddhist centers – datsans development in the far east as a factor of urban planning resources realization of the territories. *Universum: tekhnicheskie nauki*. 2022;10-2:33-42. (In Russ.). <https://doi.org/10.32743/UniTech.2022.103.10.14401>. EDN: EWFWD.
14. Puzhkina A.A., Kim A.A. Sanatorium and wellness environment of the city of Khabarovsk. Main development trends. *Urbanistika = Urban studies*. 2023;2:16-28. (In Russ.). <https://doi.org/10.7256/2310-8673.2023.2.40061>. EDN: RXOSZJ.
15. Bauer I. The health impact of tourism on local and indigenous populations in resource-poor countries. *Travel medicine and infectious disease*. 2008;6(5):276-291. <https://doi.org/10.1016/j.tmaid.2008.05.005>.
16. Loehr J., Dwipayanti N.M.U., Nastiti A., Powell B., Hadwen W., Johnson H. Safer destinations, healthier staff and happier tourists: Opportunities for inclusive water, sanitation and hygiene in tourism. *Tourism management perspectives*. 2021;40:100883. <https://doi.org/10.1016/j.tmp.2021.100883>.
17. Grishina M. Analysis of the Functional Planning Development of Cities in the USSR on the Example of Kazan. In: *Proceedings International scientific conference on socio-technical construction and civil engineering*. Cham: Springer. 2021. Vol. 169. https://doi.org/10.1007/978-3-030-80103-8_11.
18. Hong Y., Ezech C.I., Deng W., Hong S.H., Ma Y., Tang Y., et al. Coordinated energy-environmental-economic optimisation of building retrofits for optimal energy performance on a macro-scale: A life-cycle cost-based evaluation. *Energy Conversion and Management*. Vol. 243. Iss. 4. p. 114327. <http://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114327>.
19. Mikhailov S., Khafizov R., Mikhailova A., Nadyrshine N., Nadyrshine L. Supergraphics as a project and artistic method in design of a modern city. In: *IOP conference series: materials science and engineering*. 29 April 2020, Kazan. Kazan: IOP Science; 2020. Vol. 890. 2020. p. 012003. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/890/1/012003>. EDN: EYRMPS.
20. Rafikov I. Synthesis of the technique of academic architectural drawing and architectural fantasy in composite openings as an invariant of professional training of future architects. In: *E3S Web of Conferences: 2nd International scientific conference on socio-technical construction and civil engineering*. 21-28 April 2021, Kazan. France: EDP Sciences; 2021. Vol. 274. P. 1038. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127401038>. EDN: MVTSRB.
21. Kinosyan N., Bashirova E. The architecture of spectacular buildings in the city of Kazan in the context of national and regional traditions. In: *E3S Web of Conferences: 2nd International scientific conference on socio-technical construction and civil engineering*. 21-28 April 2021, Kazan. France: EDP Sciences; 2021. Vol. 274. P. 1016. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127401016>. EDN: QIPDUO.
22. Xie J., Zhong Yu., Xiao T., Wang Zheng, Junguo Zh., Wang T., Schuller B. A multi-information fusion model for short term load forecasting of an architectural complex considering spatio-temporal characteristics. *Energy and Buildings*. 2022;277:112566. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112566>.
23. Khalil Idrissi Gartoumi, Smail Zaki, Mohamed Aboussaleh, Building information modelling (BIM) interoperability for architecture and engineering (AE) of the structural project: A case study. *Materials today: proceedings*. 2023;5:1-8. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.05.408>.
24. Sommese F., Badarnah L., Ausiello G. A critical review of biomimetic building envelopes: towards

a bio-adaptive model from nature to architecture. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2022;169:112850. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112850>.

25. Perov A.F., Zavyalova E.V. The potential for the development of suburban recreational areas of St. Petersburg. On the example of the territory located on the border of the villages of Zelenogorsk and Ushkovo, the Resort area. *Innovatsii i investitsii = Innovations and Investments*. 2022;12:165-168. (In Russ.). EDN: JPGFFN.

26. Tikhova Y.L., Kuleeva L.M. Building a classification system for open architectural spaces. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta = News of the Kazan State University of Architecture and Engineering*. 2020;1:27-35. (In Russ.). EDN: AJORYN.

27. Sadovaya M.M. Arrangements of high tech medical institutions in Novosibirsk. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta = Journal of construction and architecture*. 2014;2:53-59. (In Russ.). EDN: RZPBXN.

28. Verkalets I.M. Principles and methods of architectural and planning organization of recreational landscapes taking into account the aesthetics of the natural environment. *Architecture and modern information technologies (AMIT)*. 2014;1:1-15. (In Russ.).

29. Irkhina K.S., Morgun N.A. Formation of the sanatorium-resort complex in the black sea coast of the republic of Crimea, the city of Saki. *Inzhenerno-stroitel'nyi vestnik Prikaspiya*. 2019;1:83-90. (In Russ.). EDN: TKNWVR.

Информация об авторах

Гришина Мария Павловна,

кандидат архитектуры,
доцент кафедры градостроительства
и планировки сельских населенных мест,
Казанский государственный
архитектурно-строительный университет,
420061, г. Казань, ул. Калинина, 43, Россия,
e-mail: grishinih@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8234-8403>
Author ID:4580-6148

Михайлова Анна Евгеньевна,

архитектор-проектировщик,
ООО «Архикон».
420094, г. Казань, ул. Аделя Кутуя, 2а,
Россия,
✉e-mail: anna.mikhaylova.archi00@gmail.com.
<https://orcid.org/0009-0003-9191-0033>

Information about the authors

Maria P. Grishina,

Candidate of Architecture, Associate Professor
of the Department of Urban Planning and Planning
of Rural Populated Areas,
Kazan State University of Architecture and Civil
Engineering,
43 Kalinina St., 420061 Kazan, Russia,
e-mail: grishinih@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8234-8403>
Author ID:4580-6148

Anna E. Mikhailova,

Architect,
LLC «Archicon»,
2a Adela Kutuya St., 420094 Kazan,
Russia,
✉e-mail: anna.mikhaylova.archi00@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0003-9191-0033>

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

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

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 30.11.2023.
Одобрена после рецензирования 12.12.2023.
Принята к публикации 17.01.2024.

Information about the article

The article was submitted 30.11.2023.
Approved after reviewing 12.12.2023.
Accepted for publication 17.01.2024.

**Советская промышленная архитектура Н.И. Бойкова начала XX века****И.Е. Дружинина¹**¹Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Аннотация. Целью данной статьи является изучение промышленных объектов архитектора Н.И. Бойкова, построенных в 1920-х годах в Иркутской области, частично или полностью утраченных, представляющих историческую, культурную и архитектурную ценность. В работе применены такие методы, как ретроспективный анализ, историческая реконструкция и кластеризация. Ретроспективный анализ использовался при изучении территорий промышленных объектов, на которых до участия Н.И. Бойкова уже существовали отдельные сооружения, определено в той или иной степени участие архитектора в строительстве новых зданий и реконструкции существовавших сооружений; уточнены временные рамки проектирования и строительства объектов Н.И. Бойкова. Методом кластеризации выявлены некоторые количественные и качественные характеристики трех основных промышленных объектов автора, выполненных в условиях модернизации и нового строительства. В ходе исследования периода работы Н.И. Бойкова были выявлены этапы строительства и реконструкции промышленных объектов (кожзавода «Сибиромонгол», ЦЭС-2 и Хайтинской фарфоровой фабрики), с высокой степенью вероятности определены постройки с его авторским участием. Автором статьи по архивным документам и открытым источникам были восстановлены и выполнены схемы размещения цехов кожзавода «Сибиромонгол» и Хайтинской фарфоровой фабрики в период деятельности Н.И. Бойкова. Были сделаны следующие выводы: при изучении промышленных объектов Н.И. Бойкова была определена ценность исследуемых объектов, выявлена необходимость сохранения разрушающихся строений, составляющих культурный, архитектурный и исторический пласт развития промышленных объектов начала XX века в нашей стране.

Ключевые слова: Бойков Николай Иосифович, промышленная архитектура, кожзавод «Сибиромонгол» имени Марата, Иркутская ЦЭС, Хайтинская фарфоровая фабрика

Для цитирования: Дружинина И.Е. Советская промышленная архитектура Н.И. Бойкова начала XX века // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 1. С. 183–199. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-1-183-199>. EDN: RWSITF.

Original article**Soviet industrial architecture projects by Nikolay Boykov
from the early 20th century****Inna E. Druzhinina¹**¹Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. The article aims to study partially or completely lost industrial facilities designed by Nikolay Boykov and built in the 1920s in the Irkutsk Region that represent historical, cultural, and architectural value. In the work, such methods as retrospective analysis, historical reconstruction, and cluster analysis were used. The retrospective analysis was applied to study the territories of industrial facilities, which were occupied by some structures prior to Nikolay Boykov's involvement; the architect's contribution to the construction of new buildings and reconstruction of existing structures was ascertained; the design and construction time frames of Nikolay Boykov's projects were revised. The cluster analysis revealed some quantitative and qualitative characteristics of three main industrial facilities that were designed by the architect under the conditions of modernization and new construction. The study of the years of Boykov's activity revealed stages in the construction and reconstruction of industrial facilities

(“Sibiromongol” leather factory, CPS-2, and Khaitinsky porcelain factory), and identified buildings that were most likely to have been designed with his involvement. The present author used archival documents and open sources to reconstruct and prepare layout plans of workshops at the “Sibiromongol” leather factory and Khaitinsky porcelain factory during the years of Boykov’s activity. The study of these facilities showed the value of the considered projects, the necessity of preserving the deteriorating structures that constitute a stratum of cultural, architectural, and historical development of industrial facilities from the early 20th century in Russia.

Keywords: Boykov Nikolay Iosifovich, industrial architecture, Leather factory “Sibiromongol” named after Marat, Irkutsk Central Electric Power Plant, Khaitinskaya Porcelain Factory

For citation: Druzhinina I.E. Soviet industrial architecture projects by Nikolay Boykov from the early 20th century. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(1):183-199. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-1-183-199>. EDN: RWSITF.

ВВЕДЕНИЕ

Чуть более века назад Николай Иосифович Бойков приехал в столицу Иркутской губернии и сменил несколько высоких должностей. Возглавлял губернскую и Земскую управы, работал помощником заведующего строительным подотделом Иркутского комитета государственных сооружений, занимал руководящие должности по проектированию и постройке производственных зданий и предприятий связи, Домов Советов, был техническим директором (главным инженером) треста Комжилстроя, занимал несколько руководящих должностей «Фундаментстроя», был старшим инженером треста и заведующим бюро экспертиз «Ироблпроекта» при отделе по делам архитектуры при Иркутском облисполкоме [1].

Кроме этого Н.И. Бойков вел научную и преподавательскую деятельность, был незаурядным инженером, архитектором и педагогом. Он прожил яркую продолжительную жизнь, посвятив себя творчеству в Иркутске и регионе, где жил и трудился более 50 лет. Он работал не только над гражданскими, но и над промышленными зданиями, а также являлся автором уникальных общественных и жилых зданий Иркутска, ставших памятниками эпохи модерна.

Начало XX века было временем противоречивым, бурным, богатым на великие начинания и трагические события. После окончательного установления советской власти в Иркутской губернии в январе 1920 г. последовал целый ряд мер по восстановлению и развитию народного хозяйства. В июле 1921 г. постановлением президиума Иркутского губернского совета народного хозяйства все предприятия, в соответствии с техническим и финансовым состоянием, были разбиты на три категории – основную, самоснабжающуюся и сдаваемую в аренду. В основную группу предприятий Иркут-

ской губернии вошли кожзавод «Сибиромонгол», Хайтинская фарфоровая фабрика, Иркутская центральная электрическая станция (ЦЭС) и др. В отчете Иркутского губернского экономического совещания «О состоянии отдельных отраслей хозяйства Иркутской губернии» от 1 октября 1921 г. признаются лучшими пять предприятий. Среди них на первом месте указан кожзавод № 2 «Сибиромонгол» им. Марата.

Кожзавод № 2 «Сибиромонгол» им. Марата и ЦЭС в декабре 1921 г. постановлением Губернского экономического совета со всем комплексом предприятий, подчиненных Иркутскому губернскому совету народного хозяйства, были постепенно сняты с государственного снабжения и переведены на полный хозяйственный расчет. Так претворялась в жизнь новая экономическая политика молодого государства [2]. Этим объектам, имевшим важное стратегическое значение, и посвятил часть своей творческой жизни Н.И. Бойков, о них и пойдет речь [2].

МЕТОДЫ

Ретроспективный анализ помог определить основные этапы развития территории трех исследуемых промышленных объектов: кожевенного завода № 2 «Сибиромонгол» им. Марата, ЦЭС (ТЭЦ-2) в Иркутске и Хайтинской фарфоровой фабрики. На этих территориях удалось выявить, относительно точно, здания, относящиеся к творчеству Н.И. Бойкова.

С целью установления периода времени возведения сооружений были изучены открытые источники, архивные материалы, в том числе из краеведческого фонда библиотеки пос. Мишелевка. Методами исторической реконструкции и кластеризации идентифицированы объекты Н.И. Бойкова, определена с большой вероятностью степень его участия в

реконструкции зданий или строительстве новых; систематизированы данные по внедрению новых для того времени технологий производства.

Метод кластеризации использовался также для определения характерных признаков застройки территории завода «Сибиромонгол» и здания ЦЭС (ТЭЦ-2) в Иркутске, Хайтинской фарфоровой фабрики, соответствующих определенным историческим периодам развития промышленных площадок.

Были выявлены такие конструктивные особенности как монолитный железобетонный каркас, использование контрфорсов для снятия нагрузки от покрытий на стены и др. А также такие архитектурные приемы как использование ландшафта для наиболее эффектного восприятия объекта в панораме города (поселка) при планировке территории и конструктивно-художественного оформления фасадов (контрфорсы, обрамление оконных проемов, скатные теплые крыши и др.).

В середине 1920 г. Н.И. Бойков был назначен производителем работ по постройке государственного кожзавода «Сибиромонгол» в Иркутске. Этот объект упоминается первым среди значимых производственных объектов в перечне творческих работ архитектора, записанных им в личном деле по случаю его приема в члены Союза архитекторов СССР в 1934 г.^{1,2}

Кожевенное производство в Иркутске к тому времени давно существовало. В очерке Иркутского городского головы В.П. Сукачева «О торговле и ремеслах в Иркутске» 1891 г. повествуется о том, что кожевенный товар стоит на третьем месте после галантерейного и мануфактурного по востребованности в губернии [3].

«Известны две формы кожевенного производства: кустарная и фабрично-заводская. В России до революции 1917 г. преобладала кустарная промышленность, производство которой отличается от ремесленной тем, что ремесленник работает на заказ» [4].

К концу XIX века, с началом промышленной революции, кустарные предприятия в России и, в частности, в Сибири преобразуются в заводы [5, 6]. Не исключение и Иркутск. Так, существовавшие с конца XVIII века на территории предместья Знаменского (ныне предместье Марата) кустарные частные и небольшие

кожевенные мастерские в 1915 г. объединяются в завод «Сибиромонгол» по форме собственности – акционерное общество [7, т. 2, ст. 790]. Завод производил до 20 000 тяжелых кож. Резолюцией совместного совещания промышленной секции 1 губернского съезда Советов с представителями Губернского совета народного хозяйства «О деятельности иркутского Губсовнархоза» от 25 января 1921 г. предписывалось признать ударной задачей восстановление завода «Сибиромонгол». Так, за счет концентрации мелкой промышленности расширить и повысить его производительность, организовать экстрактирование дубильных веществ из местного (взамен иностранного) сырья и увеличить производство обуви гражданского образца для широкого снабжения населения и рабочих прозодеждой [2].

Кожевенный завод представлял собой «...низкое деревянное здание. Зольный, дубильный и сушильный цехи были небольшими и тесными. Машин не было. Почти два года завод разоряли белогвардейцы и чехи...» [8, с. 44], а 15 августа 1919 г. случился пожар, от завода остались лишь обгоревшие стены и груды железа. Требовалось скорейшее восстановление производства, начавшееся в 1920 г. Тогда же завод стал называться Государственный кожевенный завод № 2 «Сибиромонгол» им. Марата Сибкожтреста.

Весной 1920 г. были утверждены проектные работы и сметы, предусматривающие «...значительные конструктивные изменения как в пользу огнестойкости здания, так и в смысле улучшения и расширения производства» [2, с. 178].

«По проекту восстановления предусматривалось расширение мездрильного отделения с шерстомойкой, путем пристройки к заводу, и увеличение площади отделочных, сушилки и других отделений, путем надстройки вторых этажей одноэтажными частями здания (золично-сокового, гашпильного и мездрильного)» [2, с. 178].

В результате реконструкции общая площадь строений завода увеличилась в полтора раза (с 781 кв. саженей до 1040 кв. саженей). В строениях предусматривались железобетонные перекрытия с устройством железобетонного конька с теплой крышей. Было выполнено устройство 24 железобетонных чанов для отмочного и зольного отделений с проведением

¹Архив Иркутской региональной организации Общероссийской творческой профессиональной общественной организации «Союз архитекторов России». Союз архитекторов СССР. Ордена Ленина Союза архитекторов СССР. Личный листок члена Союза. Бойков Николай Иосифович.

²Архив Иркутской региональной организации Общероссийской творческой профессиональной общественной организации «Союз архитекторов России». Трудовая книжка на имя Бойкова Николая Иосифовича 1938 г.

внутризаводской и выводной канализации посредством бетонных труб. Для водоснабжения и в противопожарных целях спроектирован железобетонный напорный бак над лестничной клеткой объемом 3000 ведер (почти 37 м³). Обустроены необходимые для производства промывные барабаны, сыпные и экстрактовые чаны, дуборезка, проведен капитальный ремонт прокатной машины и проч.

В 1922 г. было построено мездрильное отделение, над ним был возведен второй этаж с теплой крышей. Взамен деревянных дощатых кладовых и кузницы были выстроены каменные кладовая и кузница. К завершению строительства кожзавод № 2 был оснащен современными технологиями, «прекрасно оборудованными» цехами, «с гигиеническими условиями труда» [2, с. 180].

Отдельные цехи завода работали уже в 1921 г [8]. «Вырабатывает преимущественно подошвенный товар. Рабочих 309 человек» [7, т. 2, с. 790]. 24 февраля 1923 г. состоялся торжественный пуск восстановленного рабочими и красноармейцами крупнейшего в Сибири Иркутского кожевенного завода [3]. «К 1 января 1923 г. проектная мощность завода составляла около 100 000 кож» [2, с. 53].

На первой Всероссийской сельскохозяйственной выставке СССР 1923 г., проходившей в Москве, государственный кожевенный завод «Сибиромонгол» им. Марата был удостоен диплома признательности Республики 1-й степени [9].

Третий этап развития завода наступил в 1924 г., когда произошло объединение государственных кожзаводов № 1, располагавшегося в пер. Малыгинском (ныне ул. Николаева) и № 2 «Сибиромонгол» им. Марата, превратив и без того крупные предприятия в самый большой завод Сибири [8].

За 1924 г. была построена своя заводская электростанция, установлены новые насосы по перекачке жидкостей, проложена узкоколейка для транспортировки технологических грузов, введены в эксплуатацию подъемная и строгальная машины.

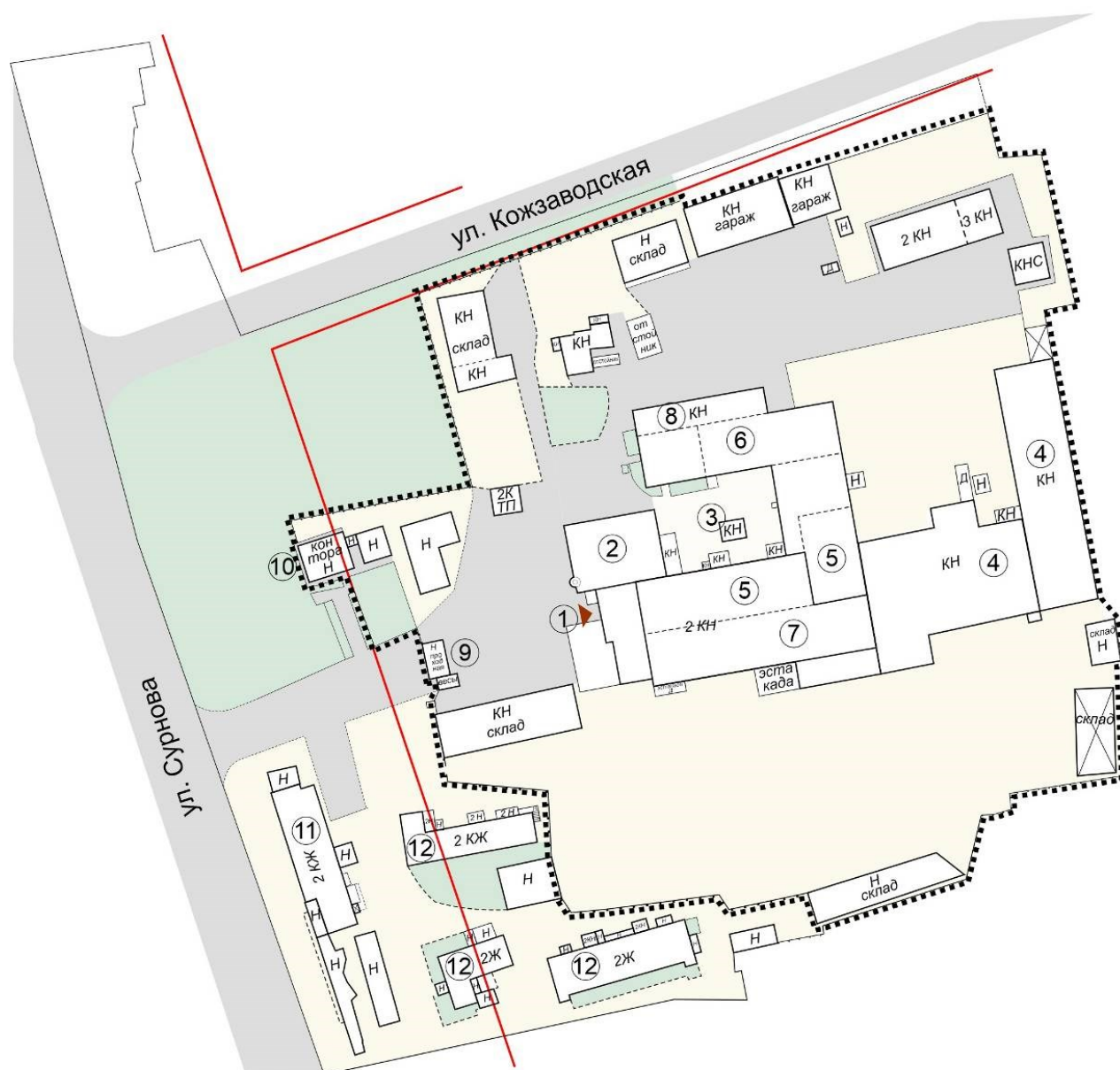
Последняя явилась новинкой для Иркутска [10]. «В 1928/29 гг. выпущено продукции на 3 967,8 тыс. руб. Пропускная способность завода составляет 200 тыс. крупных кож» [7, т. 2, с. 790]. Семь лет творческой жизни отдал Н.И. Бойков кожзаводу, вникая в тонкости производства. Восстановленный, практически заново отстроенный завод, долгие годы выпускал необходимую для народного хозяйства продукцию. Следующая значительная реконструкция была проведена в конце 1980-х гг. с

основным упором на модернизацию технологических процессов и обеспечение предприятия современным оборудованием, что позволило существенно увеличить выпуск готовой продукции и поднять производительность труда (рис. 1). Однако завод не миновала постперестроечная судьба большинства промышленных предприятий нашей страны, и в 1999 г. он перестал функционировать, а в 2001 г. окончательно закрылся.

Сегодня территория завода представляет собой площадку, лоскутно поделенную между многочисленными собственниками с широким диапазоном общественных и мелких производственных функций. Хаотично выглядит и «архитектура» места.

С каждым годом все больше утрачивается история мощного когда-то завода, все реже можно увидеть старую кирпичную кладку строений, фрагментарно спрятанную под штукатурку, лучковую и полукруглую форму арочных проемов и окон с мелкочаистыми деревянными переплетами с горбыльками (рис. 2). Кое-где пока сохранены контрфорсы и пилястры, еще просматриваются авторские очертания заводских сооружений, которые все больше надстраиваются, пристраиваются и перестраиваются. Тем не менее, здания пока существуют, но требуют бережного отношения к использованию объекта как эвентуального памятника архитектуры, истории и культуры.

Существует много методов приспособления памятников истории и культуры под современные функции. Известны две основные тенденции реконструкции. Целью одной является воссоздание архитектуры как объекта истории, второй – «приукрашивание» истории, формирование объекта городской структуры [11]. Может применяться воссоздание памятников с частичным или полным изменением функций – принцип конверсии, например, функциональное преобразование газгольдеров в Вене [12]. Заслуживает внимания европейский опыт крупнейшей действующей программы возрождения городов, в частности, реконструкция района Хафенсити в Гамбурге [13]. Восстанавливая кожевенный завод, с 1921 г. Н.И. Бойков параллельно в течение пяти лет занимался реконструкцией и расширением построек Иркутской центральной электростанции (рис. 3), хотя перестраивалась и достраивалась она около 10 лет. 22 декабря 1920 г. в Москве на VIII Всероссийском съезде Советов был утвержден план Государственной электрификации России (ГОЭЛРО). В соответствии с этим планом в 1922 г. в Иркутской губернии началась электрификация [2].



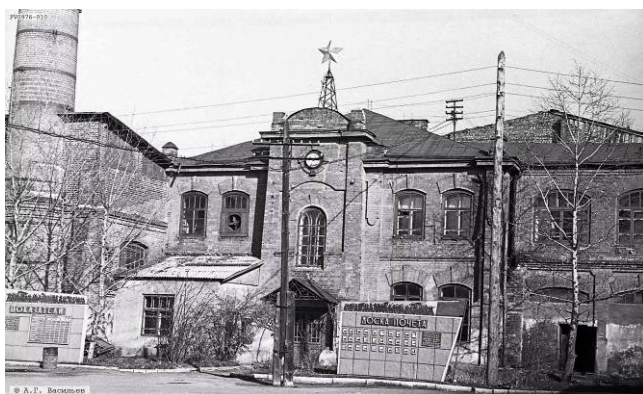
① Главный вход; ② Котельная; ③ Водонапорная башня; ④ Золично-соковые цехи; ⑤ Гашпильный (дубильный) цех, на 2-ом этаже - сушилки; ⑥ Мездрильный цех; ⑦ Прессовый цех (на 1-ом этаже); ⑧ Механический цех; ⑨ Проходная; ⑩ Контора; ⑪ Общежитие работников кожзавода (на 1-ом этаже - столовая); ⑫ Жилые дома работников кожзавода

Рис. 1. Схема 1992 г. ОАО «Иркутск-кожа». Ориентировочная схема Дружининой И.Е.
Fig. 1. The Layout 1992 of the JSC «Irkutsk-leather». Druzhinina's Tentative of the plant Layout

Конечно, первые электростанции на территории Сибири стали появляться раньше, но они были, как правило, частными и малой мощности, их было мало, в то время как в европейской части России электростанций было несравнимо больше [14, 15].

На территории Сибири «...в городах начали строить мелкие электростанции, которые освещали дома купцов и царских сановников, магазины и здания общественного использования. Такие станции имели купцы Второв и Похолков

в Иркутске» [16, с. 89]. Их называли «домовые» электростанции. «На строительство крупных электростанций претендовал иностранный капитал» [15, с. 169], часто предлагая кабальные условия договора коммерческой концессии. На первых этапах реализации ГОЭЛРО в связи с дефицитом средств и оборудования строились небольшие тепловые станции в крупных городах и переоборудовались действующие станции на основных промышленных предприятиях [2].



a)



b)



c)



d)

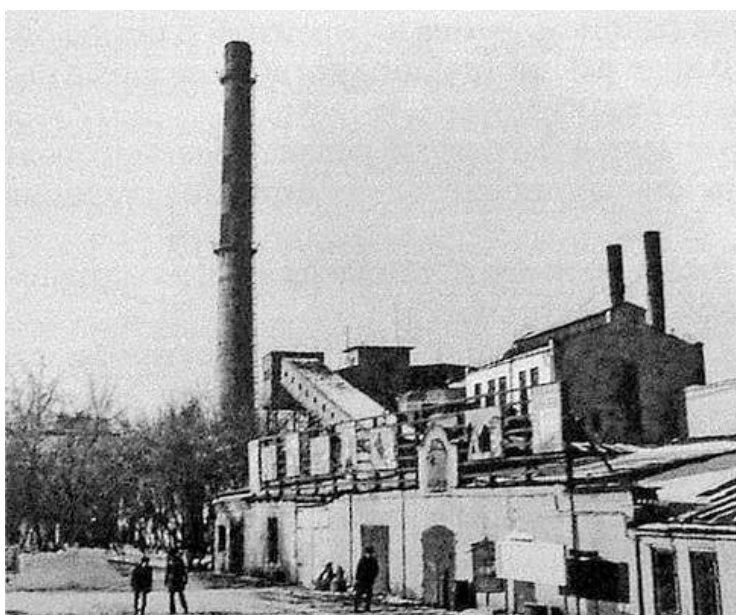
Рис. 2. Вид бывшего кожзавода № 2 «Сибиромногол»:
а) котельная (слева, 1 этаж), главный вход и дубильный цех (справа внизу) и сушилки (справа вверху), фото Васильева А.Г., 1964; б) современный вид котельной и входа в бывшие цехи; в) вид со стороны внутреннего дворика: дубильный цех (на 1-м этаже) и сушка (на 2-м этаже); д) контрфорсы котельной завода; фото б)– д) Дружининой И.Е., 2023

Fig. 2. View of the former leather factory No. 2 "Sibiromongol":
a) boiler room (left, 1st floor), main entrance and tanning shop (bottom right) and dryers (top right), photo by A.G. Vasilyev, 1964; b) modern view of the boiler room and the entrance to the former workshops; c) view from the courtyard: tanning shop (on the 1st floor) and drying shop (on the 2nd floor); d) boiler-house buttresses; photo b) – d) by I.E. Druzhinina, 2023

Первая иркутская городская электростанция мощностью 735 кВт, давшая позднее название Цэсовской набережной, была построена второй по счету в Иркутской области в 1909–1910 гг., после промышленной электростанции на приисках в Ленском золотопромышленном районе (1895 г.).

При рассмотрении вопроса о строительстве городской ЦЭС Иркутская дума, «...отказавшись от сдачи электрической энергии в концессию иностранному капиталу, решила строить электростанцию хозяйственным способом» [15, с. 169].

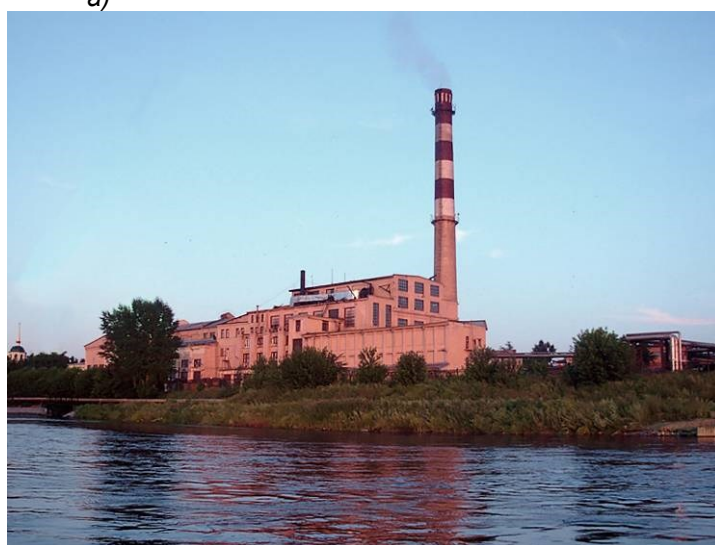
Это было одноэтажное здание с высотной технологической доминантой – трубой, высотой 85 м. Центральная электростанция работала на системы освещения улиц города и домов, часть электроэнергии (25 %) отдавала на потребление учреждений, больниц и некоторых промышленных предприятий. ЦЭС была оборудована двумя паровыми машинами немецкого производства мощностью по 500 л.с. с генераторами однофазного переменного тока напряжением 200 В фирмы «Сименс-Шуккерт», а уже в 1913 г. установили дополнительный генератор мощностью 150 кВт [16, 17].



a)



b)



c)

Рис. 3. Иркутская центральная электростанция:

a) вид со стороны перекрестка ул. Сурикова и ул. Ленина, фото 1950-х; б) вид ЦЭС (ТЭЦ-2) со стороны пер. Гершевича, 2008; в) вид ЦЭС (ТЭЦ-2) с р. Ангары, автор В. Суслов

Fig. 3. Irkutsk Central Power Plant (CHP-2): a) view from the street intersection Surikov and st. Lenin. 1950 view of the Central Electric Power Plant (CHP-2) from the side of the lane. Gershevich. 2008; c) view of the central power plant (CHP-2) from the river Angara, author V. Suslov

В 1921 г. архитектор Н.И. Бойков принимал непосредственное участие в реконструкции станции [2], а позже ее расширении – строительстве новых зданий на углу ул. Гершевича и Набережной. Активные меры для модернизации Иркутской ЦЭС принял Губернский совет народного хозяйства, объявив электростанцию ударным предприятием.

Реконструкция глубоко коснулась технологического оборудования станции (замена устаревшего иностранного и установка нового оте-

чественного), в результате мощность увеличилась на 400 кВт относительно дореволюционной. В 1922 г. ЦЭС стала вырабатывать в полтора раза больше энергии, чем в предыдущий год, что составило 208 903 кВт-ч. Это был второй этап развития, затрагивающий кроме технологии, архитектурно-планировочные и конструктивные решения.

Сначала Н.И. Бойков надстроил основное однопролетное старое здание электростанции. Позже был возведен новый трехпролетный

корпус с повышенным средним пролетом. Комплекс основных зданий протянулся вдоль набережной р. Ангары примерно на 150 м, архитектура имела каскадное понижение высоты в сторону реки, что работало на панораму. Органично учитывающий особенности ландшафта сложный комплекс, состоящий из двух основных и целого ряда пристроенных технологических сооружений, в ширину достигал около 50 м.

Новый главный корпус имел довольно большую остекленную поверхность с характерными для того времени оконными переплетами в виде мелкой ячейки с горбыльками.

«В годы Великой Отечественной войны и в послевоенный период, Иркутская городская электростанция бесперебойно обеспечивала электроэнергией промышленные предприятия и население города» [3, с. 346].

На третьем этапе, в начале 1950-х гг. ведение массовой застройки жилыми районами потребовало строительства тепловых сетей и дополнительные мощности для обеспечения жилья теплом. В 1954 г. в связи с организацией районного энергетического управления «Иркутскэнерго» ЦЭС была переименована в ТЭЦ-2 им. С.М. Кирова. В 1986 г. ТЭЦ-2 перестала вырабатывать электрическую энергию и была переориентирована на отпуск только тепловой энергии. Это можно считать четвертым этапом переустройства ЦЭС (ТЭЦ-2).

В 2008 г. станция была «законсервирована», начался ее последовательный разбор. Сначала снесли вспомогательные строения по периметру площадки и со стороны ул. Сурного, насосные станции и угольные транспортеры. Снос основных зданий ТЭЦ-2 и трубы осуществился в 2019 г. В 2021 г. станция, вполне претендовавшая на статус памятника истории Иркутска, прекратила существование. В настоящее время на территории бывшей ЦЭС ведется строительство жилых комплексов.

Стоит отметить, что Н.И. Бойков не только реконструировал старое и возвел новое здание ЦЭС, но и запроектировал жилой дом по ул. Польских Повстанцев (бывшей Семинарской) для ее работников.

Известно, что двухэтажный дом на 24 жилые комнаты для общежития рабочих электростанции Союз металлистов начал строить в 1926–1927 гг. на месте бывшей архиерейской усадьбы с определением сметной стоимости строительства в 28 000 руб³. Но сегодня, к сожалению, найти более точную информацию о судьбе дома не удалось.

В 1926 г. Н.И. Бойков приступил к строительству другого значимого объекта – главного производственного здания Хайтинской фарфоровой фабрики в пос. Мишелевка Иркутской области. Об этом свидетельствует запись в трудовой книжке архитектора и его Личном листке из архива Иркутской региональной организации Союза архитекторов.

Продукция Хайтинской фарфоровой фабрики была известна по всей стране и за рубежом с конца XIX века. Тем не менее, фабрика братьев Переваловых к началу XX века «славилась» тяжелейшими условиями труда. В 1920 г. фабрика была национализирована и стала называться Первая Хайтинская фарфоро-фаянсовая фабрика «Сибфарфор». При анализе промышленности Иркутской губернии большевиками был сделан вывод: «Значительная по размерам, правильно задуманная фабрика «Сибфарфор» при с. Хайта, существующая более тридцати лет, представляет собой в отношении оборудования чистый анахронизм. Несмотря, однако, на такой примитив, фабрика дает прекрасный фарфор, не уступающий быв. мальцевскому и мало уступающий кузнецовскому» [2, с. 158]. «В 1920 году Хайтинская фарфоро-фаянсовая фабрика работала с полной нагрузкой и ежедневно давала до одного вагона продукции» [2, с. 37].

В 1922 г. на фабрике была построена электрическая станция. В 1922–1923 хозяйственных годах фабрика дала чистой прибыли более 10 000 руб. в золотом исчислении. «Относительно сибфарфоровой фабрики необходимо отметить, что в ближайшем будущем она нуждается в радикальной перестройке своих осветивших зданий и в изменении самого способа производства как примитивного и не отвечающего современным требованиям техники» [2, с. 188]. В 1923–1924 гг. улучшилась производственная деятельность государственной фабрики, повысился спрос на ее продукцию.

В 1925 г. П.А. Уваров отмечал, что из 13 лучших промышленных объектов Иркутской губернии «Сибфарфор» входит в число предприятий, «...дающих наибольшую сумму ценностей» [8].

«Постановлением президиума Сибкрайсовнархоза от 23 января 1926 г. Хайтинская фабрика «Сибфарфор» признана предприятием краевого значения и переведена в непосредственное подчинение СибкрайСНХ» [8, с. 133]. С этого момента начинается масштабная реконструкция – второй этап развития фабрики. Именно в этот период здесь трудился

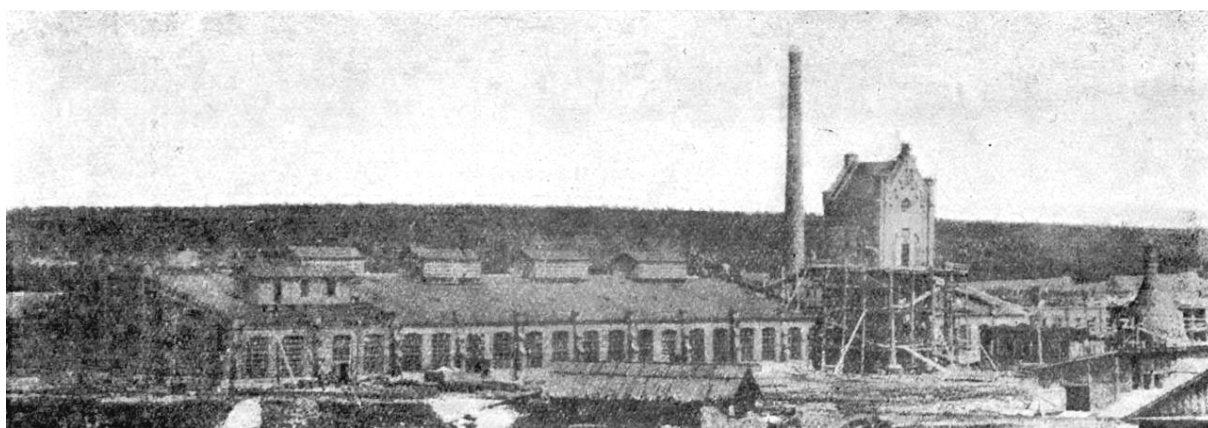
³Дом для рабочих электростанции // Власть труда. 1926. № 298.

Н.И. Бойков. «На «Сибфарфоре» продолжалась постройка новой фабрики. Работали в новых помещениях горновый, предпечный, гончарный цеха и сырьевое отделение фабрики. Оборудовался токарный цех, новое отмоечное отделение, было установлено два фильтр-пресса для отжимки массы, построена паровая мельница и т. д. Затраты на капитальное строительство составили 265 000 руб.» [8, с. 140].

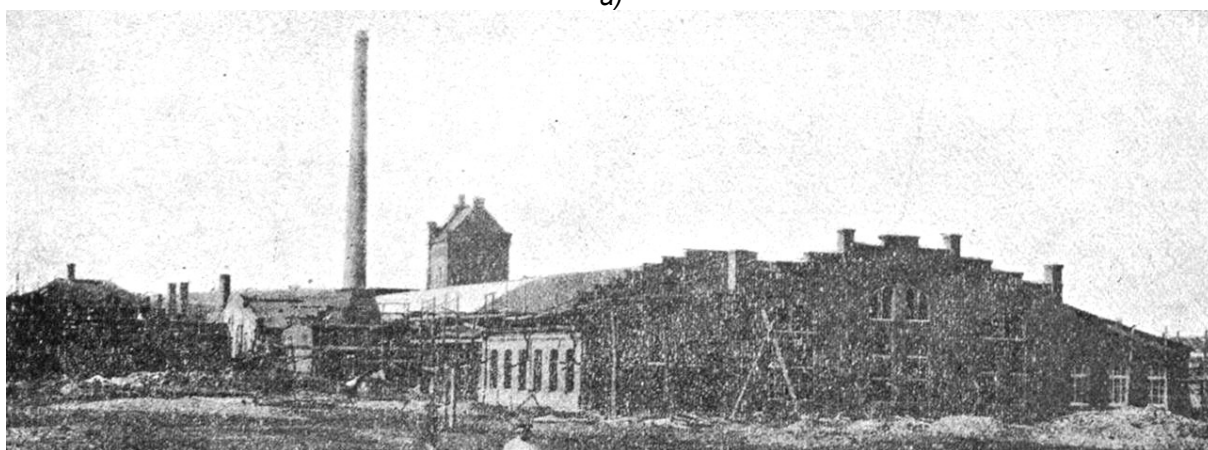
Высокую оценку качеству каолиновой глины в с. Хайта и выпускаемой продукции на местной фабрике давал и профессор И.Ф. Пономарев. В обзорной научной статье о силикатной промышленности в Сибири он опубликовал в 1927 г. фотографии старой и обновленной Хайтинской фарфоровой фабрики с комментариями к ним [19]. На фотографии из статьи (рис. 4) видно, что башня перед главным корпусом фабрики стоит в строительных лесах, справа от нее еще видны старые горновые

печи, что указывает на время съемки – 1926–1927 гг.

Сопоставляя записи в Личном листке и трудовой книжке Н.И. Бойкова с этими фотографиями и информацией в других документальных источниках, становится очевидным, что новое главное здание фабрики было построено именно в период работы архитектора, что подтверждает его авторство. Нужно отметить, что производственные цехи строились и сразу вводились в эксплуатацию без остановки производства. Последовательно с запада на восток у нового здания сооружались сырьевой (массо-заготовительный), точильный (формовочный), предгорновый и горновый (термический) цехи, затем на завершающем этапе – расписной (живописный) цех. И.Ф. Пономарев в комментариях под фотографией писал: «Главный корпус новой фабрики (фасад – вид с юго-западной стороны).



a)



b)

Рис. 4. Хайтинская фарфоровая фабрика. Фото И.Ф. Пономарев, 1927 г.

a) вид с юго-запада, со стороны сырьевого цеха, точильни;

b) вид с северо-западной стороны на горновый цех, на первом плане – глазуровочная

Fig. 4. Khaitinskaya porcelain factory. From article I. Ponomarev, 1927

a) view from the southwest, from the side of the raw materials workshop, grinder;

b) view from the north-west side to the mountain workshop, in the first plane – glazing

Слева 4 окна по фасаду – сырьевое отделение; к нему примыкает “Точильня” – 16 окон. Дальше направо (в лесах) с выступающей башней – “Предгорновое” и затем “Расписное отделение” – где наносят рисунок на фарфор» [18, с. 23].

На фотографиях того периода (рис. 4а и 5а) еще видна, предусмотренная проектом Н.И. Бойкова, плоская наклонная по бетонным монолитным балкам кровля с устройством в формовочном цехе четырех световых фонарей в коньке, которые позже были перестроены.

Стены через каждые два больших оконных проема по продольным фасадам делятся контрфорсами, несущими нагрузку от покрытия. Окна имели лучковую форму (кроме торцов зданий) и делились горбылками на мелкую ячейку.

Горновое отделение имело круглое покрытие и ступенчатые торцы (рис. 4б, 5б), «...передний фасад имеет 3 больших окна в середине – глазуровочная, 3 окна справа – подготовка глазури и симметрично три окна слева – лаборатория» [18, с. 27].



a)

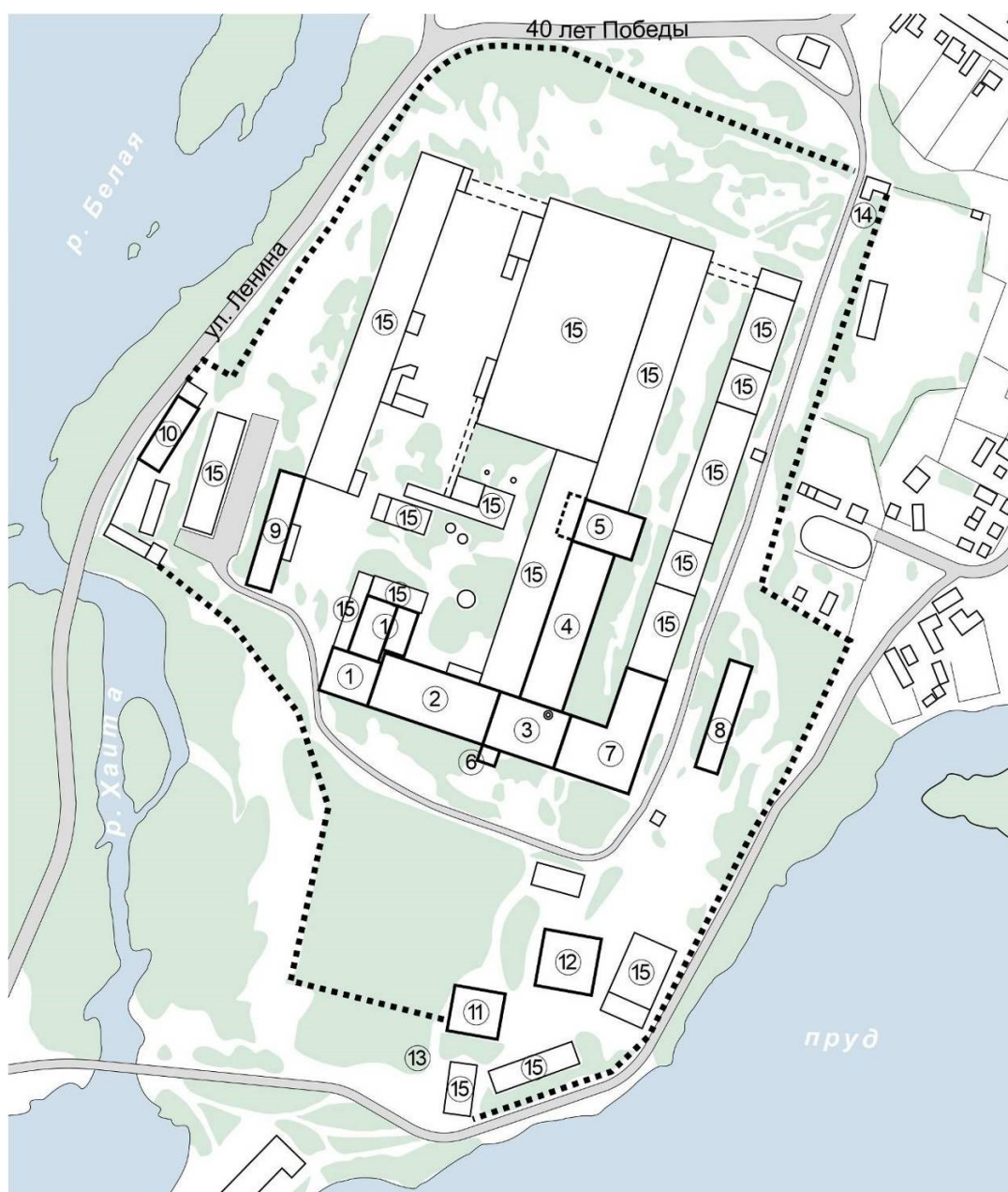


b)

Рис. 5. Хайтинская фарфоровая фабрика, фото из краеведческого фонда Библиотеки пос. Мишелевки: а) вид с юго-запада, со стороны точильни и на башню;

б) вид с северо-востока на живописный цех, справа горновое отделение

Fig. 5. Khaitinskaya porcelain factory, photo of the local history fund of the Library from the village Michelevka: a) view from the southwest, from the grinding room and to the tower; b) view from the north-east to the picturesque workshop, on the right mountain section



- ① Сырьевой (массозаготовительный) цех; ② Тоцильня (формовочный цех); ③ Предгорный цех; ④ Горный (термический) цех; ⑤ Глазуровочная с подготовкой и лабораторией; ⑥ Водонапорная башня (КИПА); ⑦ Расписной (живописный) цех; ⑧ Склад готовой продукции; ⑨ Старый цех; ⑩ Клуб; ⑪ Здание заводоуправления; ⑫ Старое здание склада готовой продукции; ⑬ Проходная; ⑭ Новая проходная; ⑮ Сооружения позднего периода (1970х-1980х)

Рис. 6. Хайтинская фарфоровая фабрика, схема И.Е. Дружинина
Fig. 6. Khaitinskaya porcelain factory, the Layout by I.E. Druzhinina

Хайтинская фарфоровая фабрика была основана на правом берегу р. Хайта неподалеку от впадения ее в р. Белая (рис. 6). Братья и отец Переваловы построили в 1869 г. на выселках плотину, перегородив р. Хайту, в результате чего образовался живописный пруд.

На плотине установили мельницу для размала породы для будущей фарфоро-фаянсовой фабрики, перенеся из Иркутска с территории р. Ушаковка некоторые строения и оборудование завода иркутского купца П.П. Сыропятова [19–21]⁴.

⁴Виджу красоту. Сибирский фарфор из Иркутской области. Режим доступа: <https://dzen.ru/a/Xt3xvLeyABJKDZwq> (дата обращения: 17.01.2024)

Вода окружала территорию фабрики с трех сторон – востока, юга и запада. Фабрика к началу XX века имела всего несколько каменных зданий, среди которых был старый двухэтажный склад готовой продукции и двухэтажное оштукатуренное здание, где размещалось управление фабрикой (позднее заводоуправление).

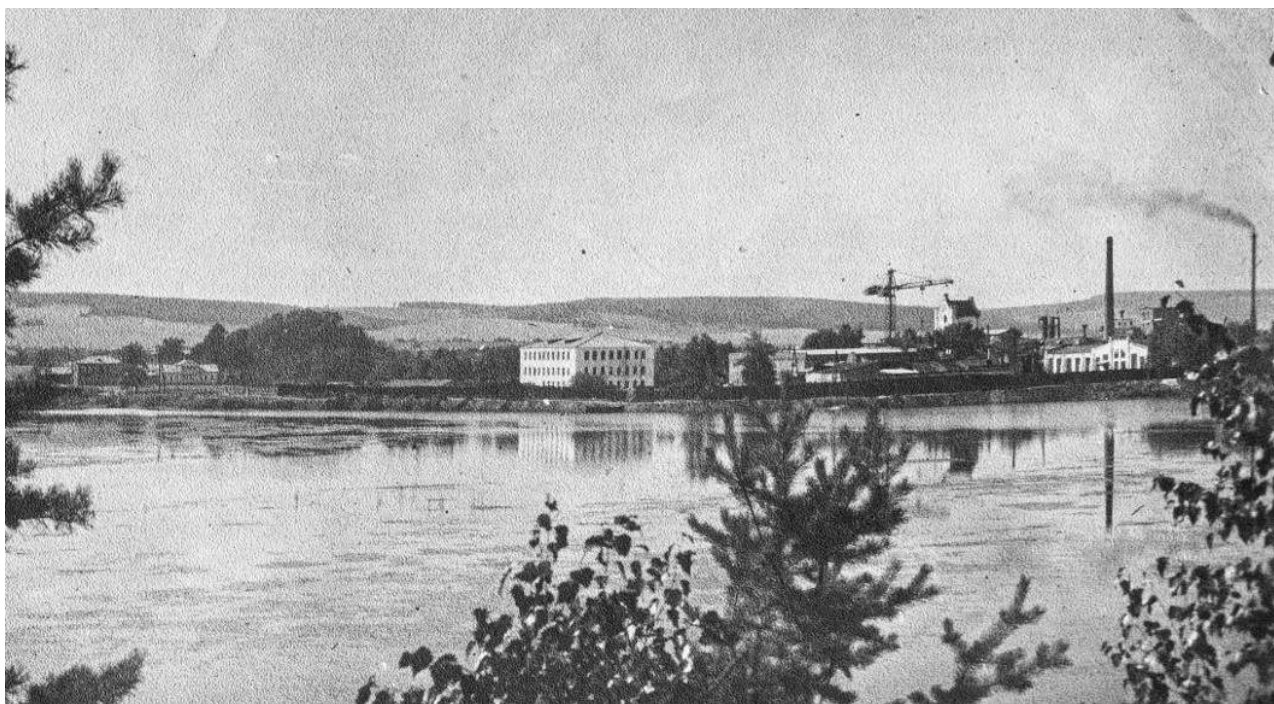
Практически все остальные сооружения были деревянными, чаще одноэтажными и приземистыми. В некоторых деревянных строениях располагались горны – печи, где обжигали керамические изделия. В 1919 г. был построен одноэтажный каменный клуб для работников фабрики по ул. Ленина (авторство не установлено).

Фабрика развивалась в северном направлении в несколько основных этапов: с 1870-х по 1900-е, в 1920-х, 1950-х и 1970-х гг., претерпевая значительные изменения, включающие технологические усовершенствования производства и постройку новых корпусов. Анализируя работу здесь с 1926 по 1928 гг. Н.И. Бойкова, видим то, как архитектор мастерски использовал рельеф местности, учел специфику территории и ландшафта, расположив новый корпус фабрики на возвышенности (рис. 6). С одной стороны торец сырьевого цеха и угловое

сопряжение расписного цеха с другой были сориентированы на устье р. Хайта и на восприятие с противоположного берега запруды соответственно, что выгодно работает на общую панораму комплекса зданий (рис. 7). Нужно отметить, что торцевые фасады главного здания фабрики и сегодня, в условиях разрушения, скрытые за дикой растительностью, выглядят нетривиальными, оригинальными. Ассиметричный фасад сырьевого отделения больший по высоте, чем некоторые сохранившиеся другие, перфорирован квадратными окнами в два – три яруса и разделен пилястрами в средней его части.

Наиболее выразительный торец фасада горнового цеха, где располагалась глазуровочная, и один торец расписного цеха в последующие этапы развития фабрики были заложены кирпичом.

Сохранившийся «скрытый» торец углового элемента расписного цеха, как и два уже утраченных, имеет двухчастные полукруглые формы в середине и лучковые оконные проемы справа и слева, повторяя тему оконных проемов башни. Торцевые стены, подчеркивающие конструкцию кровли горнового (в глазуровочной) и расписного отделений, как и в сырьевом, поделены контрфорсами.



**Рис. 7. Хайтинская фарфоровая фабрика в панораме с левого берега р. Хайты.
Фото 1970-х из краеведческого фонда Библиотеки пос. Мишелевки.**

Fig. 7. Khaitinskaya Porcelain Factory in panorama from the left bank of Khayta. Photo from the 1970s from the local history fund of the Library from the village of Mishelevka

В противовес старым, приземистым и темным, с маленькими окнами, сооружениям фабрики, новые корпуса были наполнены светом через большие оконные проемы в стенах и световые фонари в кровле. Даже между отделениями существовали большие проемы полукруглой или лучковой формы, которые впоследствии в разное время были заложены. Торцы цехов декорированы сухариками.

Градостроительный акцент, доминанта поселка – водонапорная башня, с запоминающейся архитектурой, служила центром фланкирующего фасада и композиции застройки территории в целом. В некоторых источниках утверждается, что башня была построена в 1911 г. другим архитектором (скульптором) из ссыльных поляков. Однако пока эти данные не нашли прямых подтверждений. Напротив, в процессе работы были выявлены некоторые косвенные признаки того, что авторство башни может принадлежать Н.И. Бойкову, т. к. время постройки совпадает со вторым этапом реконструкции фабрики. К этой гипотезе привели следующие рассуждения. Во-первых, постройка башни в лихолетье (1907–1917 гг.), на которое ссылаются многие историки, маловероятна, поскольку владевшие в 1911 гг. фабрикой Е. Метелев и П. Щелкунов с трудом пытались сохранить производство. Было не до нового строительства. Во-вторых, сосланный после событий 1863 г. на каторжные работы поляк к 1911 г. должен был достигнуть возраста старше 70 лет, но информации о нем не найдено. В-третьих, на рис. 4, из книги И.Ф. Пономарева, башня стоит «в лесах», а живопис-

ный цех еще не построен, даже если не принимать во внимание технологическую необходимость ее возведения у термического цеха. Зная, что сначала сооружался сырьевой, потом точильня, а затем предгорный и горновый цехи, и лишь после живописный, то по последовательности возведения было проще начать строительство с пристраивания к башне. Стоит отметить, что использовались похожие приемы оформления фасадов: однотипные оконные проемы торцевых стен цехов и башни; геометрия контрфорсов на фасадах цехов, башни и фасадах завода «Сибиромонгол», построенного им ранее – единообразны.

В любом случае, Н.И. Бойков, используя приемы объемно-пространственной организации объекта и территории, оформления фасадов, превратил комплекс производственных зданий в целостный архитектурный ансамбль, что является высшим проявлением мастерства зодчего. Фабрика прошла сложный многоступенчатый путь реконструкций и модернизаций, с 1941 г. в годы Великой Отечественной войны стала Хайтинским абразивным заводом, который в 1954 г. переименован в «Хайтинский фарфоровый завод», а с 1996 г. началось многочисленное переименование предприятия по форме собственности: «Хайтинский фарфор», «Сибирский фарфор», «Фарфоровый завод “Хайта”». В 2005 г. завод ликвидирован. Комплекс главного здания фабрики (рис. 8), которому через несколько лет исполнился бы вековой юбилей, мог бы претендовать на статус памятника истории, культуры и архитектуры регионального значения.



Рис. 8. Хайтинская фарфоровая фабрика. Вид с башни на горновый, предгорный и живописный цеха. Фото И.Е. Дружинина, 2023

Fig. 8. Khaitinskaya Porcelain Factory. View from the tower to the mountain, foothill and painting workshops. Photo by I.E. Druzhinina, 2023

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате исследования были систематизированы данные из нескольких источников, сопоставлены архивные записи в Личном листке и трудовой книжке Н.И. Бойкова с фотоархивными и информационными материалами, выявлены этапы строительства и реконструкции промышленных объектов зодчего (кожзавода, ЦЭС-2 и Хайтинской фарфоровой фабрики), определены (относительно точно) постройки с его авторским участием. Были воссозданы исторические события начала XX века, связанные с творческой деятельностью архитектора Н.И. Бойкова. В работе определены этапы развития территории исследуемых объектов, выявлены признаки и приемы архитектуры объектов кожзавода, ЦЭС и фарфоровой фабрики, характерные творчеству зодчего. Изучение наследия творчества Н.И. Бойкова продолжается, некоторые гипотезы еще требуют уточнения и (или) подтверждения.

ВЫВОДЫ

По результатам исследования установлены этапы развития промышленных объектов и объемы работ, выполненные Н.И. Бойковым в рассматриваемые временные рамки. Архитектуру большинства зданий завода «Сибиромонгол» и Хайтинской фарфоровой фабрики можно отнести к эклектике, а новое здание ЦЭС имело признаки конструктивизма.

Были определены:

- необходимость бережного отношения к промышленным объектам этого периода, не допущение их утраты, аналогичной утрате Иркутской ЦЭС;

- сохранение объектов как пример организации объемно-пространственной композиции

в жестких условиях того времени и технологических ограничений производства, а также – мастерство архитектора в работе над созданием ансамбля сооружений с учетом градостроительной ситуации и ландшафта;

- необходимость сохранения эстетики архитектуры промышленных объектов Н.И. Бойкова, которые должны стать памятным местом для населения, а также служить и сегодня, своего рода, образцом (аналогом) для архитекторов и градостроителей, формирующих новые производственные площадки;

- необходимость восстановления архитектуры старых цехов (кожзавода и фабрики второго этапа развития) как эвентуальных объектов имиджевой составляющей не только местного уровня, но и региона, повышающих инвестиционную привлекательность как туристических кластеров с возможным размещением здесь музеев, клуба народных промыслов, образовательного творческого центра и т. п.

Стоит рассмотреть возможность частичного восстановления производства фарфора на фабрике, в целях как исторического, так и образовательного, интерактивного наглядного продукта мастерских, развивающих творческий потенциал, приобщение к художественным традициям посетителей, населения региона.

Результаты подтверждают необходимость сохранения исследуемых объектов народного хозяйства СССР.

Выявленная культурная и архитектурная ценность кожзавода и фарфоровой фабрики – важнейший пласт истории развития промышленных объектов в регионе и нашей стране в целом.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Дружинина И.Е. Факты жизни Николая Иосифовича Бойкова (1873–1959) // Проект Байкал. 2023. № 78. С. 134–141. <https://doi.org/10.51461/issn.2309-3072/78.2249>.
2. Тагаров З.Т. Иркутский губернский совет народного хозяйства: 1920–1923 гг.: материалы и документы. Иркутск: Книжное издательство, 1959. 114 с.
3. Косых А.П. Хрестоматия по истории Иркутской области. Иркутск: Восточно-Сибирское книжное издательство, 1969. 411 с.
4. Сайфутдинова О.П. Кожевенные изделия – стратегический материал: история развития и технологии обработки // Проблемы востоковедения. 2020. №1 (87). С. 83–89. <https://doi.org/10.24411/2223-0564-2020-10113>. EDN: SZNKUW.
5. Целищева М.А. Памятник промышленной архитектуры «Барнаульский кожевенный завод» (конец XIX – начало XX вв.): история и современное использование // Сохранение и изучение культурного наследия Алтайского края. 2019. № 25. С. 338–348. EDN: BLBQUD.
6. Меженникова О.В. Кожевенная промышленность мещан в городах Томской губернии в первой половине XIX в // Известия Алтайского государственного университета. 2015. № 3-2 (87). С. 153–158. [https://doi.org/10.14258/izvasu\(2015\)3.2-23](https://doi.org/10.14258/izvasu(2015)3.2-23). EDN: VAWADN.
7. Азадовский М.К., Алыпов С.А., Ансон А.А., Басов М.М., Вегман В.Д., Ветров В.А. [и др.] Сибирская советская энциклопедия. Том II: 3–К. Новосибирск: Западно-сибирское отделение объединения государственных книжно-журнальных издательств, 1931. 574 с.

8. Уваров П.А. Развитие социалистической промышленности Иркутской губернии в восстановительный период (1921–1926 гг.). Иркутск: Книжное издательство, 1958. 155 с.
9. Соколов М.П., Миротворцев К.Н., Занкевич А.И., Черкунов А.Н., Апыхтин Н.Н., Кац Я.Д. [и др.] Справочник по Иркутской губернии: с приложением календаря, системы метрических мер, извлечений из действующего законодательства, сведений о СССР и важнейших иностранных государствах, карт Иркутской губернии и СССР. Иркутск: Иркутский губисполком, 1925. 359 с.
10. Сирота С. Наша промышленность. Из итогов производственного года (1923–24 гг.) На «Сибиромонголе» // Власть труда, 1925. № 30.
11. Harrmann A. Architectural Reconstructions: The Current Developments in Germany // University of Georgia Libraries. 2006. 208 p. Режим доступа: <https://esploro.libs.uga.edu/esploro/outputs/graduate/Architectural-reconstructions--the-current-developments/9949334382902959#details> (дата обращения 17.01.2024)
12. Fiorino L., Landolfo R., Mazzolani F. M. The Refurbishment of Gasometers as a Relevant Witness of Industrial Archaeology // Engineering Structures. 2015. Vol. 84. P. 252–265. <https://doi.org/10.1016/j.eng-struct.2014.11.035>.
13. Eleftheriou V., Knieling J. The Urban Project of Hafencity. Today's Urban and Traffic Profile of the Area. Executive Summary of Methodology and Traffic Research Conducted in the Region // Transportation Research Procedia. 2017. Vol. 24. P. 73–80. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.070>.
14. Целищева М.А., Дышлюк М.А. Барнаульская городская электростанция – памятник промышленной архитектуры начала XX в // Сохранение и изучение культурного наследия Алтайского края. 2019. № 25. С. 348–358. EDN: PTHQTU.
15. Кибардин В.В. История строительства первых электрических станций г. Красноярска // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2011. № 6 (57). С. 168–174. EDN: NUSZRB.
16. Алексеев В.В. Первые электростанции в Урало-Сибирском регионе (к 100-летию плана ГОЭЛРО) // Известия Иркутского государственного университета. Серия Политология. Религиоведение. 2020. Т. 33. С. 87–100. <https://doi.org/10.26516/2073-3380.2020.33.87>. EDN: HIACZW.
17. Алексеев В.В. Электрификация Сибири: историческое исследование. Ч. 1: 1885–1950 гг. Новосибирск: Наука, 1973. 310 с. EDN: WIGAXZ.
18. Пономарев И.Ф. Сибирская силикатная промышленность // Вестник сибирских инженеров: научно-технический журнал. 1927. Т. VII. № 11-12. Режим доступа: <https://www.elib.tomsk.ru/purl/1-13635/?ysclid=lswt6balk943816296> (дата обращения: 11.01.2024)
19. Чупрова Е., Закаменных С., Очигава А. Дом с историей // Мишелевка РФ. Земля фарфоровых историй. 2022. Режим доступа: https://m.vk.com/video590736490_456239230?list=aaa0b35e3eede6beb6&from=wall590736490_443 (дата обращения: 17.01.2024).
20. Митрофанова Е.В. Посуду из Мишелевки можно увидеть только в музее Иркутска // Аргументы и Факты. 2010. № 39. Режим доступа: <https://irk.aif.ru/culture/art/78190?ysclid=lswjvgnrzf222886339> (дата обращения: 17.01.2024)
21. Бизикова М.А. Жители Мишелевки верят в возрождение Хайтинского фарфора. Фарфоровая Сибирь // Областная. 2019. Режим доступа: <https://www.ogirk.ru/2019/10/16/zhiteli-mishelevki-verjat-v-vozrozhdenie-hajtinskogo-farfora/?ysclid=lswk5ssuxx1022751> (дата обращения: 17.01.2024)

REFERENCES

1. Druzhinina I.E. Highlights of the Life of Nikolai Iosifovich Boikov (1873-1959). *Proekt Baikal = Project Baikal*. 2023;78:134-141. <https://doi.org/10.51461/issn.2309-3072/78.2249>. (In Russ.).
2. Tagarov Z.T. *Irkutsk Provincial Council of National Economy: 1920–1923: Materials and Documents*. Irkutsk: Book Publishing House, 1959. 114 p. (In Russ.).
3. Kosykh A.P. *Reader on the History of the Irkutsk Region*. Irkutsk: East Siberian Book Publishing House, 1969. 411 p. (In Russ.).
4. Saifutdinova O.P. Leather Products as Strategic Material: History of Development and Processing Technologies. *Problemy vostokovedeniya = The Problems of Oriental Studies*. 2020;1(87):83-89. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/2223-0564-2020-10113>.
5. Tselishcheva M.A. Monument of Industrial Architecture “The Barnaul Tannery” (The End of The 19th Century – The Beginning of The 20th Century): History and Modern Use. *Sokhranenie i izuchenie kul'turnogo naslediya Altaiskogo Kraya = Preservation and Study of the Cultural Heritage of the Altai Territory*. 2019;25:338-348. (In Russ.). EDN: BLBQUD.
6. Mezhenina O.V. Leather Industry of the Burghers in The Cities of the Tomsk Province in the First Half of the XIX Century. *Izvestiya Altaiskogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of The Altai State University*. 2015;3-2(87):153-158. (In Russ.). [https://doi.org/10.14258/izvasu\(2015\)3.2-23](https://doi.org/10.14258/izvasu(2015)3.2-23). EDN: VAWADN.

7. Azadovskii M.K., Alypov S.A., Anson A.A., Basov M.M., Vegman V.D., Vetrov V.A. et al. *Siberian Soviet Encyclopedia. Volume II: Z–K*. Novosibirsk: West Siberian Branch of the Association of State Book and Magazine Publishing Houses, 1931. 574 p. (In Russ.).
8. Uvarov P.A. *Development of the Socialist Industry of the Irkutsk Province During the Restoration Period (1921–1926)*. Irkutsk: Book Publishing House, 1958. 155 p. (In Russ.).
9. Sokolov M.P., Mirovtortsev K.N., Zankevich A.I., Cherkunov A.N., Apykhtin N.N., Kats Ya.D. et al. *Directory on the Irkutsk Province: With the Application of a Calendar, a System of Metric Measures, Extracts from Current Legislation, Information about the USSR and the Most Important Foreign States, Maps of the Irkutsk Province and the USSR*. Irkutsk: Irkutsk Gubernia Executive Committee, 1925. 359 p. (In Russ.).
10. Sirota S. Our Industry. From the Results of the Production Year (1923–24). At Sibiromongol. *Vlast' truda* = *The Power of Labor*. 1925;30. (In Russ.).
11. Harrmann A. Architectural Reconstructions: The Current Developments in Germany. *University of Georgia Libraries*. 2006;208. Available from: <https://esploro.libs.uga.edu/esploro/outputs/graduate/Architectural-reconstructions--the-current-developments/9949334382902959#details> [Accessed 17th January 2024].
12. Fiorino L., Landolfo R., Mazzolani F. M. The Refurbishment of Gasometers as a Relevant Witness of Industrial Archaeology. *Engineering Structures*. 2015;84:252-265. <https://doi.org/10.1016/j.eng-struct.2014.11.035>.
13. Eleftheriou V., Knieling J. The Urban Project of Hafencity. Today's Urban and Traffic Profile of the Area. Executive Summary of Methodology and Traffic Research Conducted in the Region. *Transportation Research Procedia*. 2017;24:73-80. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.070>.
14. Tselishcheva M.A., Dyshlyuk M.A. The Barnaul Urban Power Station as an Industrial Architecture Landmark of the Beginning of the 20th Century. *Sokhranenie i izuchenie kul'turnogo naslediya Altaiskogo Kraya* = *Preservation and Study of the Cultural Heritage of the Altai Territory*. 2019;25:348-358. (In Russ.). EDN: PTHQTU.
15. Kibardin V.V. History of the First Electrical Power-Station Construction in Krasnoyarsk City. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = *Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University*. 2011;6(57):168-174. (In Russ.). EDN: NUSZRB.
16. Alekseev V.V. First Power Plants in the Ural-Siberian Region (On the Occasion of the 100th Anniversary of the Goelro Plan). *Izvestiya irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya politologiya. Religiovedenie* = *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Political Science and Religion Studies*. 2020;33:87-100. (In Russ.). <https://doi.org/10.26516/2073-3380.2020.33.87>. EDN: HIACZW.
20. Alekseev V.V. *Electrification of Siberia: A Historical Study*. Part 1: 1885–1950. Novosibirsk: Nauka, 1973. 310 p. (In Russ.). EDN: WIGAXZ.
18. Ponomarev I.F. Siberian Silicate Industry. *Vestnik sibirskikh inzhenerov: nauchno-tehnicheskii zhurnal* = *Bulletin of Siberian Engineers: Scientific and Technical Journal*. 1927;VII;11-12. Available from: <https://www.elib.tomsk.ru/purl/1-13635/?ysclid=lsjwt6balk943816296> [Accessed 11th January 2024]. (In Russ.).
19. Chuprova E., Zakamennykh S., Ochigava A. *House with History. Michelevka RF. Land of Porcelain Stories*. Available from: https://m.vk.com/video590736490_456239230?list=aaa0b35e3eede6beb6&from=wall590736490_443 [Accessed 17th January 2024]. (In Russ.).
20. Mitrofanova E.V. Dishes from Mishelevka Can Only Be Seen in the Irkutsk Museum. *Argumenty i Fakty* = *Arguments and Facts*. 2010;39. Available from: <https://irk.aif.ru/culture/art/78190?ysclid=lsjvgnrzzf222886339> [Accessed 17th January 2024]. (In Russ.).
21. Bizikova M.A. Residents of Mishelevka Believe in the Revival of Khaitinsky Porcelain. Porcelain Siberia. *Oblastnaya* = *Regional*. 2019. Available from: <https://www.ogirk.ru/2019/10/16/zhiteli-mishelevki-verjat-v-vozhrozhdenie-hajtinskogo-farfora/?ysclid=lswk5ssuxx1022751> [Accessed 17th January 2024]. (In Russ.).

Информация об авторе

Дружинина Инна Евгеньевна,
профессор кафедры архитектурного
проектирования,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
✉ e-mail: irk.allegro.id@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0003-0602-4364>
Author ID: 728329

Information about the author

Inna E. Druzhinina,
Professor of the Department
of Architectural Design,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,
Russia,
✉ e-mail: irk.allegro.id@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0003-0602-4364>
Author ID: 728329

Вклад автора

Автор провел исследование, подготовил рукопись к печати и несет ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 17.01.2024.
Одобрена после рецензирования 31.01.2024.
Принята к публикации 01.02.2024.

Contribution of the author

Author has conducted the study, prepared the manuscript for publication and bears the responsibility for plagiarism.

Conflict interests

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

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

Information about the article

The article was submitted 17.01.2024.
Approved after reviewing 31.01.2024.
Accepted for publication 01.02.2024.



**Модель достопримечательного места центральной части
г. Иркутска как основа интеграции застройки
в историческом городе. Периодизация этапов
формирования. Современное состояние**

Р.А. Селиванов¹✉

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

Аннотация. Целью работы является исследование проблемы целостности городской ткани исторического центра г. Иркутска в аспекте взаимодействия городских морфотипов с их функциональным использованием в совокупности с ориентацией перемещений по городу. Каждый исторический город застраивался поступательно, формируя планировочную структуру и ее взаимосвязи с тканью застройки в течение столетий. Для г. Иркутска характерно пять основных этапов эволюции застройки: 1. XVII – нач. XVIII вв. Формирование усадебной застройки вокруг острога. 2. Середина XVIII в. Переход от нерегулярной застройки к упорядоченной, формируются доминанты. 3–4. конец XVIII – XIX вв. Становление публичного статуса центральных улиц. Внедрение образцовых проектов. 5. XX в. Включение в ткань типовых блок-секций и точечной застройки. Основой интеграции ткани застройки выступает модель достопримечательного места «Исторический центр Иркутска» с его эволюционно сложившимися закономерностями. Выявлены основные этапы эволюции застройки достопримечательного места «Исторический центр Иркутска», начиная с периода первоначального освоения территории (2-й пол. XVII – до начала XXI вв.). Проведен анализ и классификация типологии застройки, основных периодов формирования градостроительной ткани. Уточнена граница «достопримечательного места». Выделено его ядро и периферия. Изучена периодизация иркутских авторов по формированию исторической части г. Иркутска.

Ключевые слова: застройка, достопримечательное место, морфотип, пространственная структура

Для цитирования: Селиванов Р.А. Модель достопримечательного места центральной части г. Иркутска как основа интеграции застройки в историческом городе. Периодизация этапов формирования. Современное состояние // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 1. С. 200–215. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-1-200-215>. EDN: ESFFPQ.

Original article

**Model of a sightseeing attraction in the central part
of Irkutsk as the basis for the integration of development
in a historical city. Periodization of the
formation stages. The current state**

Roman A. Selivanov¹✉

¹Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. The work aims to study the issue of the urban fabric integrity of the historical center of Irkutsk. The research focuses on the interaction of urban morphotypes with their functional use in conjunction with the guidance of movement around the city. Each historical city was developed progressively, forming an urban planning structure and its interconnections with the fabric of the built-up area over the centuries. Irkutsk is characterized by five main stages in the evolution of development:

1. 17th–early 18th cc. The formation of a suburban estate development around a small fortress (ostrog). 2. Mid-18th century. The transition from irregular to ordered development, architectural landmarks were formed. 3–4. Late 18th–19th centuries. The central streets acquired the public status. Implementation of reference designs. 5. 20th century. Incorporation of standard sections of blocks of flats and infill development into the urban fabric. The Historic Center of Irkutsk as a sightseeing attraction model with its evolutionary established consistent patterns is the basis for the urban fabric integration. The study identifies the main evolutionary stages in the development of this place of interest starting from the period of the initial development of the territory (2nd half of the 17th– till the early 21st centuries). The article analyzes and classifies the typology of development and the main periods of the urban fabric formation. Moreover, the research clarifies the boundary of a *sightseeing attraction* and determines its core/periphery structure. The article also considers the periodization of the Irkutsk authors who formed the historical part of Irkutsk.

Keywords: building, place of interest, morphotype, spatial structure

For citation: Selivanov R.A. Model of a sightseeing attraction in the central part of Irkutsk as the basis for the integration of development in a historical city. Periodization of the formation stages. The current state. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(1):200-215. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-1-200-215>. EDN: ESFFPQ.

ВВЕДЕНИЕ

При проведении сравнительного анализа в подходах к градорегулированию г. Иркутска в XVIII–XIX вв. с днем сегодняшним, становится очевидным, что более осмысленным и сбалансированным по многим критериям является дореволюционный период.

Начиная с 1780 г. город развивался по экономическим и организационным причинам разными темпами, но эволюционным путем и как целостный, единый организм, у которого есть главное (целое) и подчиненное (части). В своем бурном развитии и темпах роста г. Иркутск каждый раз опережал приземленные градостроительные подходы в стратегическом планировании, предлагаемые городской властью^{1–3} [1–4].

МЕТОДЫ

Согласно пункту 1.4. «Установление границ территории» Федерального закона от 25.06.2002 г. № 73-ФЗ⁴, для обоснования границ достопримечательного места целесообразно провести анализ сохранности истори-

ческой среды города. В ряду основополагающих действий при выявлении границ достопримечательного места необходимо систематизировать предшествующие градостроительные разработки с целью определения сохранности среды с исторической планировкой и застройкой. Проводя анализ, важно опираться на такие критерии ценности исторической среды^{5,6} [5], как подлинность, планировочная структура и ее связь с застройкой, функциональность с возможностью современного использования.

Базой для обоснования границ [6] территории достопримечательного места выступают архивные материалы и аналитические данные сохранности исторической среды города. Опираясь на обозначенные критерии оценки ценности среды, устанавливаются границы территории достопримечательного места, имеющего историко-культурный потенциал, который представляет научный интерес и требует регулирования для сохранения этой среды. Как правило – это квартальная за-

¹Большаков А.Г., Беломестных С.С. Морфогенез архитектурно-планировочной структуры и принципы реконструкции исторического центра г. Иркутска: учеб. пособие. Иркутск: Изд-во ИРНТУ, 2018. 209 с.

²Беломестных С.С. Эволюция архитектурно-планировочной структуры исторического центра г. Иркутска (конец XVII – конец XX вв.): дис. ... канд. архитектуры. СПб., 2018. 150 с.

³Селиванов Р.А. Пространственная интеграция разновременной застройки в структуру исторического центра крупного города (на примере г. Иркутска): дисс. ... канд. архитектуры. СПб: СПбГАСУ, 2023. 284 с.

⁴Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации: федер. закон от 25. 06. 2002 г. № 73-ФЗ // Кодекс. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901820936> (дата обращения: 08.11.2023).

⁵Методические рекомендации оценки историко-культурной ценности поселения. Применение критериев историко-культурной ценности поселения в оценке недвижимости, расположенной в границах исторического поселения / под ред. Э.А. Шевченко. СПб.: Зодчий, 2014. 264 с.

⁶Щенков А.С. Реконструкция исторических городов: учеб. пособие. В 2 ч. М.: Памятники исторической мысли, 2013. 420 с.

стройка исторического центра города, в значительной степени сохранившая историко-культурную основу. Исключительное значение в определении границ территорий с историко-культурным потенциалом играют водные ресурсы в совокупности с природно-антропогенными ландшафтами, являющиеся наиболее стабильными по сохранности градоформирующими элементами пространственной структуры города в сравнении с застройкой.

Не меньшее значение при установлении границ достопримечательного места имеет «рядовая», фоновая застройка, содержащая «культурные слои» эволюции исторической городской среды и являющаяся достоверным накопителем историко-культурного потенциала. Опираясь на периодизацию, выявленную С.С. Беломестных и А.Г. Большаковым [7, 8], определены этапы изменения границы центральной части г. Иркутска.

Конфигурация границы – результат многовековой градостроительной эволюции планировочной структуры города. Каждое изменение границы фиксировало возникновение нового историко-градостроительного района. Этапы трансформации границы г. Иркутска можно проследить по историческим планам 1783, 1843, 1879, 1899, 1929 и 2008 гг.

В исследовании использован историко-генетический подход к анализу развития застройки.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Центральная часть г. Иркутска рассмотрена как «историческое место», включая динамику формирования его границ, застройки кварталов и морфотипов кварталов³.

1-й период. Граница Достопримечательного места согласно плану 1729 г. Граница первого периода оконтуривает собой территорию «Острожно-Посадского» историко-градостроительного района (рис. 1) – исторически сложившиеся границы достопримечательного места центра г. Иркутска, неразрывно связанные с его планировочной структурой этапами формирования историко-градостроительных районов.

В г. Иркутске конца XVII – начала XVIII вв. строительство велось произвольно и определялось соображениями целесообразности самими застройщиками в ситуации отсутствия какого-либо градостроительного регулирования. Рисунок планировочной схемы «палисадного» периода отражен на первом «плане» (1729 г.) г. Иркутска.

Он четко очертил границы города, проходившие по линии современной ул. Карла Маркса. Историческое «место» в границах

первого периода включало один историко-градостроительный район – «Палисад».

На этапе становления город не имел внятного оформленного плана. Главные улицы получали свои направления и конфигурацию, соединяя складывающиеся и закрепляющиеся наиболее активные направления перемещения людских потоков с юга на север и с запада на восток.

На начальном этапе освоения возникновение новых кварталов происходило от острога по берегу как вверх, так и вниз по течению р. Ангары. В 1763 и 1764 гг. с выходом указов Екатерины II, требующих все города губерний обеспечить генеральными планами, ситуация начала кардинально меняться от произвольности в ведении застройки к регулярности и строжайшему планированию.

В 1768 г. впервые по инициативе губернатора Фрауендорфа был составлен план перепланировки г. Иркутска и сделана съемка города. На предлагаемом плане улицы расширились и выпрямились, упорядочилась конфигурация кварталов и их размеры. Город на плане преодолел границу палисада. Композиционными центрами в результате перепланировки были заданы наиболее крупные торговые и крепостные здания.

Особенный композиционный доминирующий статус был отдан культовым строениям. Рисунком структуры кварталов выявлено расположение центра города. Результатом регулирования стал чертеж плана г. Иркутска 1768 г., но реализован он не был.

Работа над первым генеральным планом г. Иркутска велась с 1780 по 1792 гг. Архитектор Алексеев на протяжении двенадцати лет сделал три варианта. Первый оказался излишне абстрактным и не привязанным к месту в достаточной степени.

Начиная с 1780 г., город развивался по экономическим и организационным причинам эволюционным путем и как целостный, единый организм, у которого есть главное (целое) и подчиненное (части).

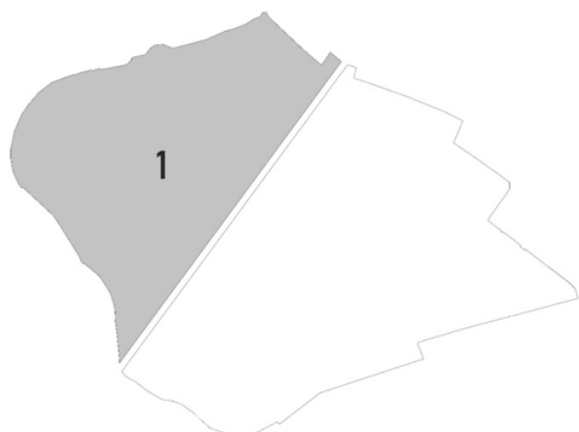
Перепланировка кварталов г. Иркутска началась с выравнивания замысловатых по конфигурации границ кварталов и спрямления улиц. За неимением согласованного генерального плана, работы начались по плану Фрауендорфа и по первому варианту генерального плана Алексеева.

Заметно расширились границы городской территории. Результаты реализации градостроительной деятельности того времени отражает план г. Иркутска 1784 г.

Отличие реализации и плана 1784 г. заключалось в меньших размерах кварталов

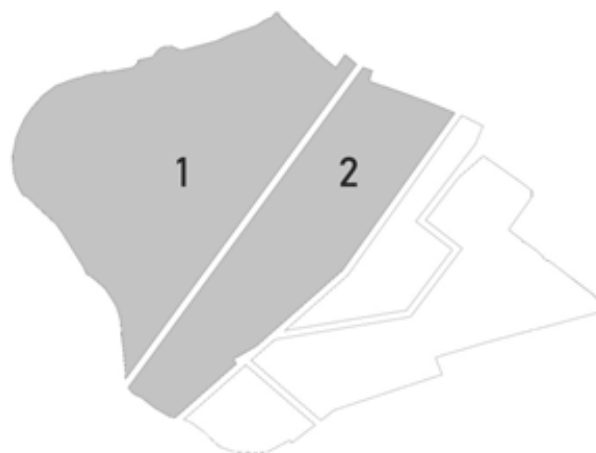
и более сложной их конфигурации, однако рисунок структуры плана соответствовал реально осуществленному. Благодаря плану 1784 г.

можно оценить реально существовавшую на то время парцелляцию кварталов на участки и их размеры.



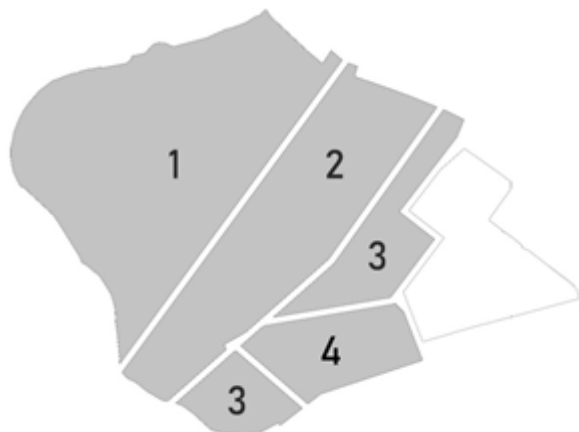
1 этап

Вторая половина XVII – первая половина XVIII вв.
Первоначальный период освоения территории.
Формирование нерегулярной усадебной застройки
вокруг острога и первого историко-градостроительного района



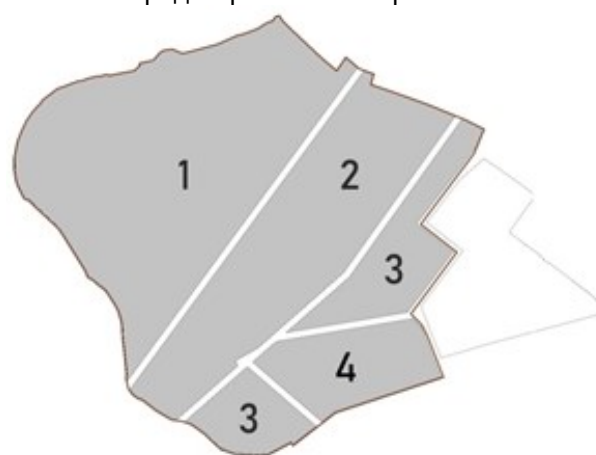
2 этап

Первая треть – XVIII в.
Переходный период от свободной нерегулярной
застройки кварталов города к упорядоченной.
Возникновение второго историко-градостроительного района



3 и 4 этапы

Вторая половина XVIII в. – конец XIX в.
Становление и развитие публичного статуса
центральных улиц. Возникновение третьего
и четвертого историко-градостроительных
районов



5 этап

Весь XX в.
Включение в историческую ткань
типовых блок-секций средней,
точечной многоэтажной застройки

Рис. 1. Исторически сложившиеся границы достопримечательного места центра г. Иркутска, этапы формирования (авторская схема)

Fig. 1. Historically formed boundaries of the landmark of the center of Irkutsk, stages of formation (the author's scheme)

Характерными, еще оставшимися на плане этого периода, являются криволинейные контуры кварталов – отголоски начального формирования кварталов г. Иркутска до 1768 г., в котором отсутствовало административное регулирование.

Одномоментно скорректировать имеющуюся на то время кривизну улиц не представ-

лялось возможным по экономическим причинам. Это влекло за собой проведение тотального сноса, неизбежно причинившего бы большие материальные потери горожанам. Поэтому переустройство планировочной структуры улиц и конфигурации очертаний кварталов проводилось постепенно. Согласно правительственному указу, застройку в городе

с 1785 г. следовало осуществлять по принятому к исполнению генеральному плану, а жилые дома возводить строго по «образцовым» фасадам.

Подтверждением взвешенной градостроительной политики периода правления Екатерины II может служить тот факт, что второй вариант, выполненный в 1791 г. иркутским губернским архитектором Алексеевым, Комиссия строений Петербурга и Москвы оценила оторванным от иркутской ситуации, неэкономичным. И предложила выполнить вариант, сохранив местоположение центра вблизи р. Ангары с минимальным сносом существующей застройки и более деликатным отношением к опорной планировочной схеме города. Учтя замечания Комиссии по части экономики в третьем варианте, все имеющиеся в опорной схеме середины XVIII в. недостатки, сложившиеся в процессе бессистемного формирования городских кварталов практически осторожного периода, транслировались через века и перекочевали в наши дни. Принципиальные требования Комиссии все же были выполнены, иначе первый в истории г. Иркутска генеральный план так и не был бы согласован Екатериной II. Главные улицы были расширены до двенадцати сажен, рядовые – до восьми. Со своими планировочными достоинствами и недостатками составление и согласование первого генерального плана стало очень значительным градостроительным явлением, которое создало необходимые условия для наведения порядка в организации процесса городского строительства, повышения уровня архитектуры и реализации работ по благоустройству.

2-й период. Граница Достопримечательного места согласно плану 1768 г. Граница второго периода оконтуривает собой территорию первого из сформировавшихся историко-градостроительных районов – «Осторожно-Пасадского», а также первого ряда кварталов «Первоначального заселения Солдатского историко-градостроительного района» (см. рис. 1) согласно Сенатскому Указу от 25 июля 1763 г. по Именному Указу, объявленному генерал-прокурором Глебовым «О проектировании генеральных планов для всех городов Российской Империи» (с дополнениями, вышедший 22 июня 1764 г.)⁷. В 1765 г. назначенный Екатериной II первый Губернатор г. Иркутска Карл Львович Фрауендорф приступил к его реализации. Первоначально им ставилась задача по выпрямлению

существующей путаной сетки улиц и приближению ее к регулярному по структуре виду. Необходимо было выявить главные и второстепенные улицы, наиболее значимые в общегородском смысле места. Также по требованиям противопожарной безопасности надо было расширить улицы до нормативных значений.

Вскоре после смерти первого иркутского губернатора Карла Львовича Фрауендорфа, в 1768 г. геодезистом Татариновым была сделана съемка г. Иркутска, на основе которой был составлен план перепланировки г. Иркутска. План представлял собой чертеж с прорисованными контурами улиц и кварталов, с экспликацией из литерных буквенных знаков для сорока пяти особенно выделенных строений: городской канцелярии, губернаторского дома, соборов, церквей и часовен города, школ навигации и геодезии, магистрата, земской избы, казенных амбаров, аптеки с садом, хлебных базаров, мясных рядов, гауптвахты, харчевни, тюремного острога, кузницы, госпиталя [9]. На предлагаемом плане улицы предусматривалось расширять и выпрямлять, а также упорядочить конфигурации кварталов и их размеры. Названия улиц, как правило, отвечали их назначению, или были названы в честь находящихся на них храмов, строений: Троицкая, Спасская, Владимирская и Харлампиевская церкви. Заморская улица простиралась до оз. Байкал. К Гостиному двору примыкала Торговая улица. Солью торговали на Соляной улице [10]. За крепостной стеной палисада начали строить несколько первых кварталов. Это были солдатские казармы, Благовещенская церковь и полицейский участок. В дальнейшем улицы вдоль этих кварталов стали называться Солдатскими. Как правило, композиционно доминирующими строениями в городской ткани г. Иркутска оставались крепости – остроги и культовые сооружения. Композиционное ядро города формировалось в окрестностях острога на месте скопления церквей, соборов. Закреплялась значимость места пересечением главных улиц [9].

Во второй половине XVIII в. значительные участки городской территории на месте современного сквера Кирова осушили и засыпали хрящом. В городе появились деревянные тротуары [10]. Результатом регулирования стал только план 1768 г. В реальности единственными прямыми улицами в те годы оставались лишь Перспектная (ул. Карла Маркса) и Луговая (ул. Марата). За палисадом возле

⁷ Полное собрание законов Российской империи от 22 июня 1764 г. № 12.196. 1764. Т. 16. С. 823.

солдатских казарм появилась стихийная жилая застройка. Сначала вдоль подъездов к Мельничным и Заморским воротам (в настоящее время это кварталы № 90, 91, 92); позднее в формировавшихся кварталах между ними⁸ [11, 12]. На этапе проектирования «Солдатского» историко-градостроительного района (первая треть – конец XVIII в.) подход к планированию от вольного склонился к строгой классицистской геометричности и упорядоченности. Первый генеральный план г. Иркутска хотя и остался на бумаге (1792 г.), в значительной степени повлиял на наведение порядка в планировочной структуре кварталов того времени. План закрепил сложившийся живописный рисунок улиц, но при этом выровняв изрезанные контуры кварталов. Дабы соблюсти целостность и архитектурное единство, к плану прилагались образцовые проекты частных и казенных домов. Естественной, эволюционно возникшей границей между историко-градостроительными районами «Острожно-посадский» и «Солдатский» была крепостная стена Рагузинского, в настоящее время – ул. Карла Маркса. «Солдатский» историко-градостроительный район представляет собой несколько деформированную с кривизной ортогональную решётку улиц, окаймляющих узкие и длинные кварталы. Одной из своих узких сторон, Солдатские кварталы формируют плотный фронт застройки ул. Карла Маркса. Историческое «место» в границах второго периода включало два планировочных фрагмента, состоящих из 102 кварталов.

3-й период. Граница Достопримечательного места согласно плану 1792 г. Граница третьего периода оконтуривает собой территорию первого «Острожно-Посадского», второго «Солдатского» и третьего «Подгорного» историко-градостроительных районов (см. рис. 1). Перепланировка г. Иркутска началась уже в 1780 г. по первому варианту генерального плана, составленному губернским архитектором Алексеевым. Заметными преобразованиями, произошедшими в период между 1764 и 1784 гг., стало расширение границ территории г. Иркутска, применение принципов регулярности при формировании застройки кварталов. Результатом регулирования стало формирование конфигурации и увеличение числа Солдатских кварталов, расположившихся между улицами Карла Маркса и Дзержинского. Первоначально за-

строилось в сторону Арсенала (ныне квартал Центрального Рынка) шесть Солдатских кварталов, приближенных к ул. Урицкого. Город развивался с северо-запада на юго-восток. Описываемый этап развития города в определенной степени удостоверяет план г. Иркутска 1784 г.⁹ (рис. 2). Фрагмент между сегодняшними улицами Дзержинского, Литвинова, Ямской, Подгорной, Красноказачьей и Борцов Революции был поделен на тринадцать кварталов. Застроен город по плану 1784 г. был с кварталами меньших размеров и более сложной их конфигурацией, но рисунок структуры плана сохранился. План 1784 г. стал первым, отразившим реально существовавшую на то время парцелляцию 1 кварталов с размерами участков. На плане видно, что улицы в палисадной части города при читаемости планировочного каркаса не имели прямого фронта. Имели место тупиковые ответвления. В плане 1784 г. еще заметна 71 черта, характерные для г. Иркутска периода начального развития, в котором отсутствовало административное регулирование. Проблема корректировки имеющейся на то время кривизны улиц заключалась в неизбежности проведения сноса, влекущего за собой большие материальные вложения [11]. 4 августа 1792 г. Екатериной II был утвержден первый генеральный план г. Иркутска (рис. 3) [11].

Застройка «Подгорно-Иерусалимского» историко-градостроительного района велась по подтвержденному плану. Историко-градостроительный фрагмент иллюстрирует подходы к градорегулированию и шаблоны планировочных структур в России в конце XVIII в. Район застраивался усадебными домами вдоль Заморского и Московского трактов с северо-запада на юго-восток до своей естественной границы – уступа Иерусалимской горы. Централизованное, административно планируемое и регулируемое строительство и благоустройство пришло на смену стихийной застройке острожного периода. Хотя, по словам губернатора Трескина, несмотря на утвержденный Генеральный план 1792 г., к 1810 г. город оставался почти в том же неухоженном состоянии, как до начала работ по его перепланировке. Первые два десятилетия XIX в. стали ключевыми в становлении механизмов регулирования градостроительной деятельности в г. Иркутске.

Регулировали реализацию органы полиции, губернский архитектор Алексеев и

⁸Летопись г. Иркутска XVII–XIX вв. / сост. Н.В. Куликаускене. Иркутск, 1996.

⁹Геттинген. Нижнесаксонская университетская библиотека, отдел рукописей. № 267, 268.

Наместническое управление. Естественно, бурному развитию г. Иркутска в первой половине XIX в. в значительной мере способствовали и высокие темпы экономического роста Восточной Сибири. Признавая явные недостатки социального характера при застройке центральных кварталов г. Иркутска, следует отметить, что градостроительные государственные реформы внесли огромный вклад в развитие городского строительства того вре-

мени. Бурный экономический рост и строительный бум в губернском г. Иркутске способствовали тому, что потенциал территории под застройку в центральных кварталах города, предусмотренный генеральным планом 1792 г., исчерпал себя уже к концу первой трети XIX в. Обстановку иллюстрирует план 1843 г. Историческое «место» в границах третьего периода включало три планировочных фрагмента, состоящих из 133 кварталов.



Рис. 2. План губернского г. Иркутска 1784 г.
Fig. 2. The plan of the provincial city of Irkutsk in 1784



Рис. 3. План г. Иркутска 1792 г.
 Fig. 3. The plan of Irkutsk in 1792

4-й период. Граница Достопримечательного места по плану 1843–1899 гг. Граница четвертого периода оконтуривает собой территорию первого «Острожно-Пасадского», второго «Солдатского», третьего «Подгорного Иерусалимского» и четвертого «Иерусалимского» историко-градостроительных районов (рис. 1). По причине бурного роста г. Иркутска уже к концу первой трети XIX в. потенциал территории под застройку в центральной части города, предусмотренный генеральным планом 1792 г., был исчерпан [13]. Кварталы приблизились к Иерусалимской горе вплотную, оконтуривая ее очертания. Ситуацию показывает план г. Иркутска 1843 г. (рис. 4)¹⁰. Застройка нагорной части началась в середине 1840-х гг. 10 сентября 1846 г. был представлен новый проектный план города, который, однако, не был утвержден Министерством по несоблюдению в нем условий циркуляра Министерства от 17 мая 1841 г. В 1868 г. была проведена съемка всей территории и скорректирован генеральный план. Вновь исправлен и дополнен генеральный план был в 1872 г. В дополнениях предлагалось небольшое увеличение территории под жилую за-

стройку. По существу, оба варианта генплана фиксировали существующее планировочное состояние со стихийно сложившимися кварталами различной произвольной конфигурации и не предпринимали даже попытки упорядочивания структуры. Летом 1879 г. (22, 24 июня) в г. Иркутске случилась череда крупных пожаров, уничтожившая наиболее ценную часть города – кварталы с застройкой первой половины XIX в. Практически в полном объеме сгорели постройки в кварталах центральной части города от Арсенальской улицы до набережной Ангары. Иркутские губернские ведомости 1879 г., освещая события, писали, что в результате пожара сгорело семьдесят пять кварталов с девятыстами восемнадцатью дворами, три тысячи четыреста восемнадцать деревянных строений, сто пять каменных. Огнем в полном объеме уничтожены казенные и торговые строения. Были безвозвратно утрачены своеобразие и местные особенности среды, формировавшиеся в течение двухсот лет. Кварталы, уничтоженные пожаром, обозначены на отдельном плане, составленном в 1879 г. (рис. 5)¹¹. 31 марта 1883 г. был заключен контракт на составление плана

¹⁰РГИА, ф. 1293, оп. 166, д. 8

¹¹Из. Кн. Иркутск: из прошлого в будущее. Иркутск, 1990. с. 79.

г. Иркутска с техником А. Федоровым, который обязался к 1 января 1885 г. представить проектный план города и произвести нивелировку улиц для устройства канав, мостов и водопроводов, что он и исполнил, составив при этом

пояснительную записку¹². По произведенной в 1887 г. съемке был запроектирован новый генеральный план г. Иркутска, по которому планировалось восстанавливать город после пожара.

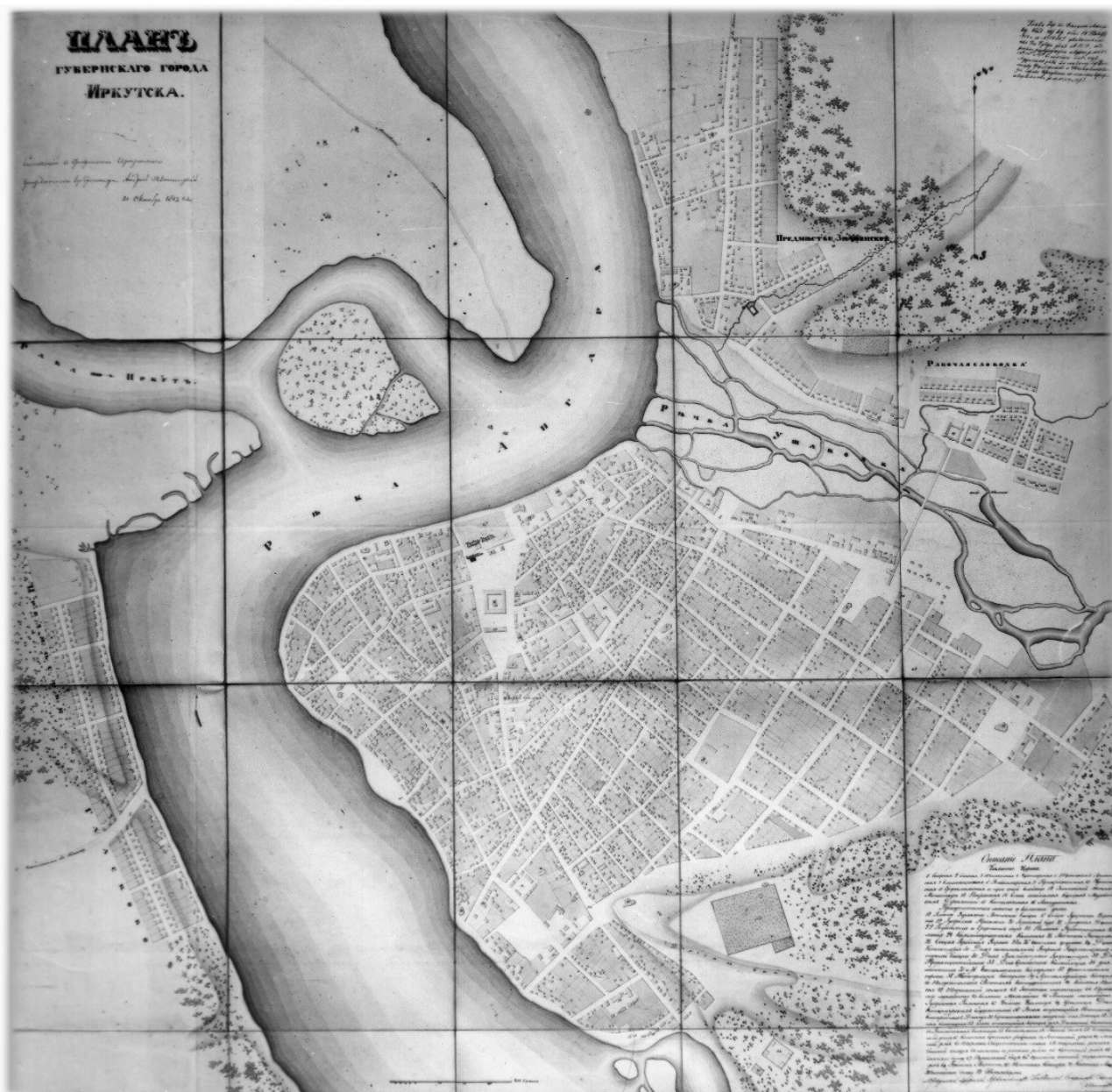
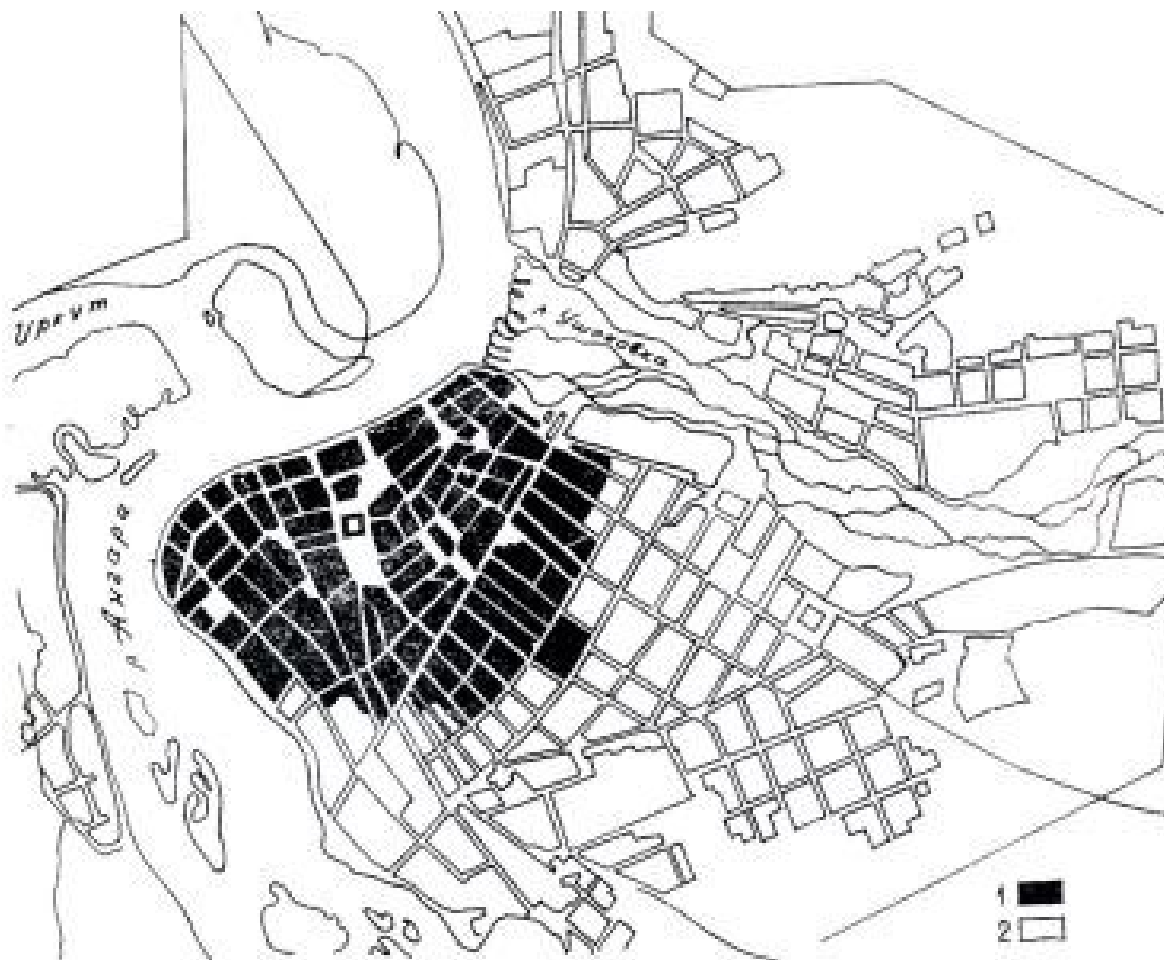


Рис. 4. План губернского г. Иркутска 1843 г.
Fig. 4. The plan of the provincial city of Irkutsk in 1843

Появление нового генплана сразу после пожара открывало более широкие возможности для качественно новой работы по перепланировке и созданию более гармоничного и целостного планировочного решения, которое бы сбалансировало недочеты первого утвержденного плана 1792 г. Но этого не слу-

чилось. Городская администрация подошла к решению этого вопроса очень приземленно. Работа свелась к упорядочению старой планировки. План восстановления г. Иркутска, составленный в 1887 г., уже к концу столетия не соответствовал быстрому росту г. Иркутска. Строительство шло бурными темпами.

¹²Обзор Иркутской Губернии за 1890 г. Иркутск: Губернская типография, 1891.



**Рис. 5. План г. Иркутска после пожара 1879 г.:
1 – выгоревшие кварталы; 2 – сохранившиеся кварталы**
**Fig. 5. The plan of Irkutsk after the fire of 1879:
1 – burnt-out quarters; 2 – preserved quarters**

Спустя два года после пожара была застроена четверть утраченных кварталов, а по прошествии восьми было выстроено две тысячи тридцать восемь зданий, из которых сто восемьдесят каменные¹³. Новые дома встраивались в контуры старой опорной схемы, соответствовавшей противопожарному регламенту.

После пожара 1879 г. городская дума выпустила обязательное к исполнению постановление, регулирующее ширину главных улиц в 12, а второстепенных – в 10 сажен. Тем не менее в результате реализации улицы были уже построены. Также значимым распоряжением в г. Иркутске послепожарного периода стал регламент зоны каменной застройки центральных улиц города. 11 апреля 1883 г. городская дума запретила строить деревянные дома на улицах: Пестеревской (ул. Урицкого),

Большой (ул. К. Маркса), Амурской (ул. Ленина), Тихвинской (ул. Сухэ-Батора), Ивановской (ул. Пролетарской) [14]. В конце XIX в. Иркутск «взбирается» на Иерусалимскую гору. Сформировались три ряда кварталов между 1-ой, 2-ой и 3-ей Иерусалимскими улицами (ул. 1-я Советская, Красных Мадыар, Трилисера), продлившихся до ул. Красноказачьей (название сохранилось).

План 1890 г. (рис. 6)¹⁴ отразил застройку, формирующую красную линию улиц и зафиксировал имевшуюся до склона горы селитебную застройку. Улицы Московско-Ланинская (ул. Декабрьских Событий) и Саломатовская (ул. К. Либкнехта) застроились до 1-й Иерусалимской. В остальных частях по склону горы на то время застройка была представлена отдельными строениями.

¹³Манонина Т.Н. Государственное регулирование застройки городов России в XIX – начале XX века (на примере Западной Сибири): автореф. дис. ... канд. ист. наук. Томск, 2011.

¹⁴ЦИА Москвы, ф.280, оп. 8, ед. хр. 55, л. 4

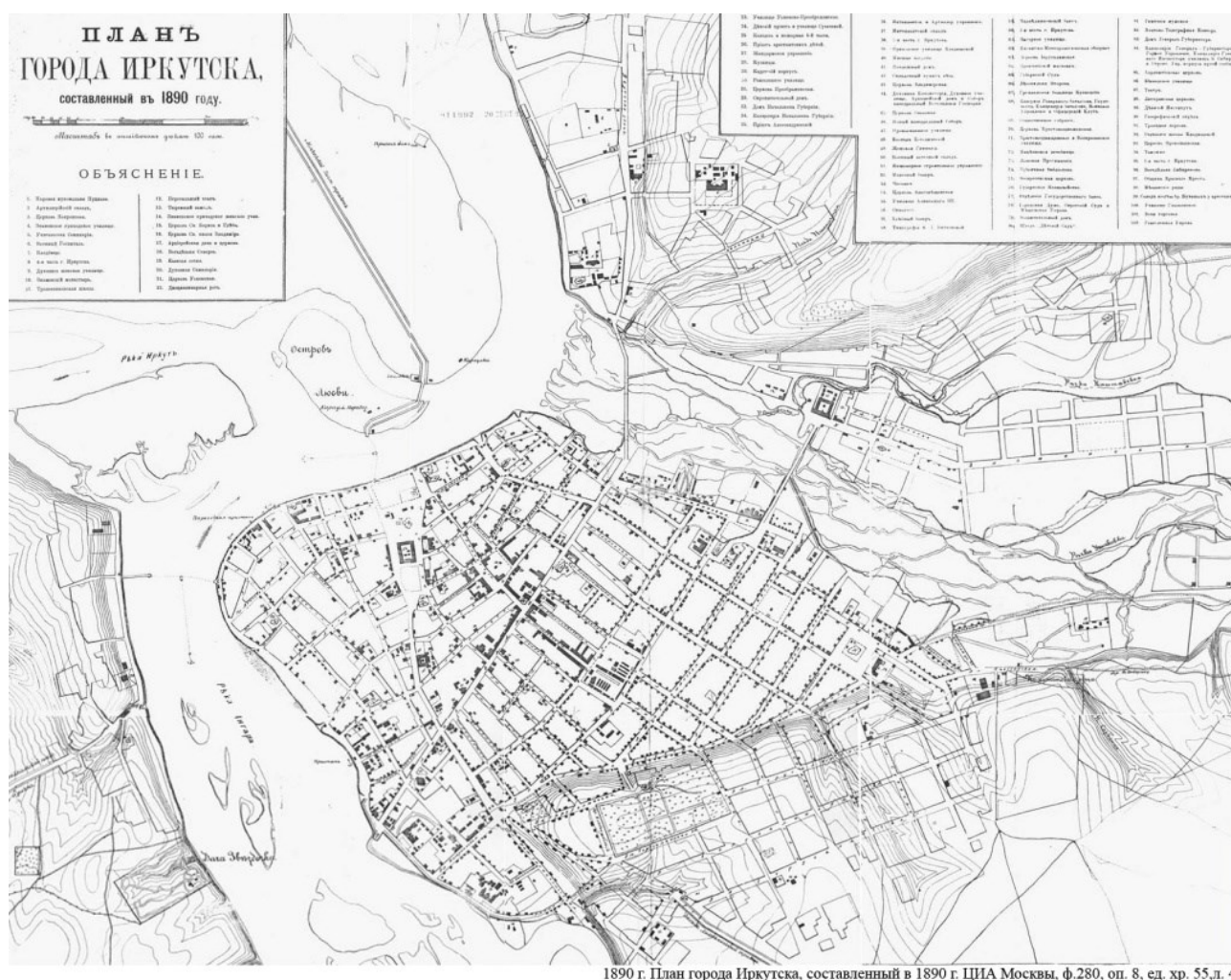


Рис. 6. 1890 г. План города Иркутска, составленный в 1890 г.
Fig. 6. 1890 The plan of the city of Irkutsk, drawn up in 1890

План г. Иркутска 1899 г. В конце 1890-х гг. городской думой была инициирована работа по разработке нового плана города. В 1899 г. план был подписан губернатором. Согласно этому плану г. Иркутск состоял из четырех крупных градостроительных районов, границами которых являлись естественные природные рубежи в виде линий рельефа и берегов рек. Генплан имел значительный охват территории по правому берегу. В результате регулирования все архитектурно-строительные работы в Иркутске начала XX в. велись по схеме генерального плана 1899 г., который был основным документом, определявшим перспективы развития. Генеральный план г. Иркутска 1899 г. (рис. 7) узаконил сформировавшуюся на то время ситуацию¹⁵.

В послепожарный период возник дефицит жилья. В связи с этим стала возрастать плотность застройки и утверждался более компакт-

ный тип усадьбы с двумя и более жилыми домами на участке. После революции генеральный план 1899 г. в связи с изменившимися требованиями новой власти и направлением развития города претерпел изменения. Достопримечательное «место» в границах четвертого периода включало четыре планировочных фрагмента, состоящих из 134 кварталов.

С середины 1840-х гг. начала застраиваться нагорная часть – «Нагорно-Иерусалимский» историко-градостроительный район (конец XVIII в. – конец XIX в.). Представленный 10 сентября 1846 г. в Министерство новый генплан г. Иркутска не был подтвержден по причинам несоблюдения в нем требований Министерского циркуляра от 17 мая 1841 г. Развиваясь и застраиваясь от одного генплана к другому, город начинал захватывать новые территории, только освоив запланированные. К 1857 г. Иерусалимская гора уже

¹⁵Российский государственный исторический архив (РГИА), ф. 1293, оп. 166, д. 7.

разделилась на кварталы. По требованиям пожарной безопасности в г. Иркутске до 1864 г. запрещалось строить деревянные двухэтажные дома, и до этого времени дере-

вянная застройка возводилась на основе цокольного этажа. Генплан 1872 г. в двух вариантах отражает имевшие в то время место стихийно застраиваемые территории.

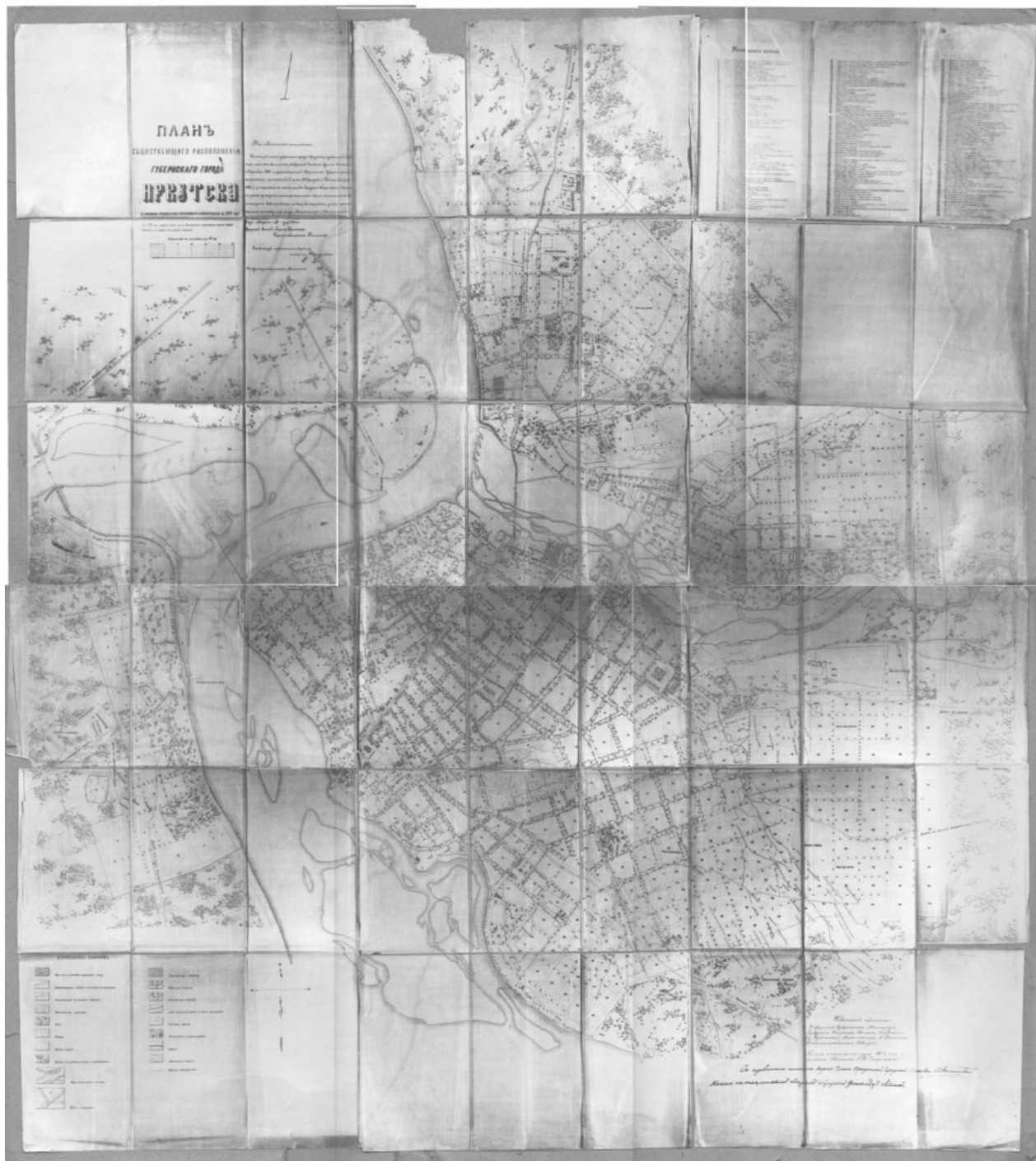


Рис. 7. План существующего расположения губернского г. Иркутска в 1899 г.
Fig. 7. The plan of the existing location of the provincial city of Irkutsk in 1899

Предлагалось незначительное увеличение территории под жилую застройку. Варианты генплана фиксировали существующее состояние со стихийно сложившимися кварталами различной произвольной конфигурации, не

упорядочивая структуру. Слабым местом градостроения в г. Иркутске дореволюционного периода были условия пожарной безопасности. Несмотря на запрет строить двухэтажные деревянные дома и постоянные тре-

бования спрямлять и расширять улицы до нормативных размеров, результатом недоустройства в г. Иркутске стала серия крупных пожаров.

Во второй половине XIX в. в старой центральной части достигли состояния, близкого к идеальному, упорядочили парцелляцию кварталов, но улицы были недостаточно прямые, недостаточно широкие и недостаточно благоустроенные и с плотной деревянной застройкой. Следствием чего явился катастрофический пожар летом 1879 г. (22, 24 июня),

в котором сгорело семьдесят пять кварталов, а в них 918 дворов, 3418 деревянных и 105 каменных домов. В городскую думу 1 января 1885 г. был представлен проект плана города с пояснительной запиской и произведенной нивелировкой улиц для устройства канав, мостов и водопроводов.

Следует отметить, что на каждом из этапов развития г. Иркутска свою стратегическую градостроительную неадекватность и некомпетентность демонстрировали субъекты регулирования на местном уровне.



Рис. 8. Проект охранных зон регулирования застройки, хозяйственной деятельности и охраняемого природного ландшафта г. Иркутска

Fig. 8. The project of protection zones for the regulation of development, economic activity and protected natural landscape of Irkutsk

Так, по произведенной в 1887 г. съемке был запроектирован новый генеральный план г. Иркутска, по которому планировалось восстанавливать город после пожара. И все казалось замечательно, новый генплан сразу после пожара открывал широкие возможности, которых не было до пожара.

Представились возможности для качественно нового прорыва в перепланировке и создании более гармоничного и целостного планировочного решения, которое бы сбалансировало нестыковки улиц первого утвержденного плана 1792 г. Этому не суждено было случиться. В своем бурном развитии и темпах роста г. Иркутск каждый раз опережал приземленные градостроительные подходы в стратегическом планировании, предлагаемые городской властью.

Субъект регулирования в лице городской администрации подошел к решению этого вопроса очень ограниченно.

Работа свелась к местечковому упорядочению существовавшей на допожарный период планировки. План по восстановлению г. Иркутска после пожара, составленный в 1887 г., уже к концу столетия перестал быть актуальным. Новые дома встраивались в контуры старой допожарной схемы с корректировкой на противопожарный регламент по ширине улиц и только. Город после пожара застроился за шесть лет. Генплан 1890 г. зафиксировал застройку, формировавшиеся красные линии и отразил имевшуюся до склона горы селитебную застройку.

В последней четверти XIX в. г. Иркутск эволюционно подошел к своей кульминации формирования планировочной структуры центральной исторической части города. Застроилась Иерусалимская гора.

Результатом регулирования дореволюционного периода для г. Иркутска, начиная с плана Фрауендорфа (заложившего основу для всех последующих этапов), стал Генеральный план г. Иркутска 1899 г., узаконивший сформировавшуюся на то время ситуацию.

Улицы сложившейся планировочной структуры кварталов центра города были «прорублены» до необходимых норм профиля в 10 саженей. Рост населения в послепожарный период повлек за собой дефицит жилья. В связи с этим в центре города начала возрастать плотность застройки, и развивается более компактный тип усадьбы с двумя и более домами на участке, а также новый тип дома – двухэтажный доходный дом.

Историческое «место» в границах четвертого периода включало четыре планировоч-

ных историко-градостроительных района.

5-й период. Граница Достопримечательного места согласно ПЗО 2008 г. Граница пятого периода оконтуривает собой территорию «Острожно-Посадского», «Солдатского», «Подгорного-Иерусалимского» и «Иерусалимского» историко-градостроительных районов (см. рис. 1).

Территориально и геометрически значительных изменений с историко-градостроительными районами в течении 5-го периода не произошло. Частично укрупнились несколько кварталов, вобрав в себя два или три мелких. Достопримечательное «место» в границах четвертого периода включало четыре историко-градостроительных района. Границы пятого периода отражает ПЗО 2008 г. (см. рис. 8).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дана оценка модели достопримечательного места центральной части г. Иркутска как основе интеграции застройки в историческом городе:

1. Закономерность формирования границ достопримечательного места состоит:

– в стихийности формирования границ между фрагментами застройки первого (1731 г.) и пятого (2008 г.) периодов.

– в упорядоченном формировании границ со второго по четвертый периоды (1768–1899 гг.), которое было связано с управленческими решениями субъектов градорегулирования и проводилось поэтапно по плану.

2. Закономерность развития модели застройки достопримечательного места состоит:

– в упорядочивании планировочной структуры и застройки городских кварталов в период с XVIII по XIX вв., (прослеживается стратегическая линия);

– в укреплении планировочного каркаса города в 1930–1980-х гг., сопровождавшегося сносом значительной части застройки дореволюционного периода. Включении в ткань исторического города типовой строчной застройки и «точечной» застройки в конце XX – начале XXI вв.

3. Согласно анализу застройки, в настоящее время в границах Достопримечательного места «Исторический центр г. Иркутска» размещается 114 исторически сложившихся кварталов, в которых зафиксировано 243 объекта культурного наследия из камня и 444 объекта культурного наследия – из дерева.

Всего 687 объектов культурного наследия XVII–XIX вв.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Яровой Б.П. Архитектурный силуэт Иркутского деревянного кремля в городском ландшафте. Предварительные опыты графической, макетной реконструкции и компьютерного моделирования с привязкой к историческому местоположению // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2021. Т. 11. № 1. С. 192–203. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-1-192-203>. EDN: CQQZDZ.
2. Селиванов Р.А. Опыт регулирования застройки в историческом городе в XVIII–XIX вв. на примере Иркутска: монография. Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2020. С. 106.
3. Монастырская М.Е. Коттеджная застройка в европейском градостроительстве второй половины XIX–XX века. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2017. 492 с.
4. Крашенинников А.В. Когнитивная урбанистика: архетипы и прототипы городской среды: монография. М.: Курс, 2020. 210 с.
5. Щенков А.С. Проблемы преемственного развития исторической застройки малых русских городов // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2017 году: сборник научных трудов Российской академии архитектуры и строительных наук. Москва: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2018. Т. 1. С. 274–279.
6. Монастырская М.Е., Песляк О.А. Методика определения границ городских агломераций // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2019. № 2. С. 111–121. https://doi.org/10.12737/article_5c73fc21703586.16507052. EDN: YXMXRJ.
7. Большаков А.Г. Оценка морфотипов застройки как отражения интересов и ценностей городского сообщества и их баланс как принцип градостроительной регенерации исторического центра // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2012. № 9 (68). С. 89–97.
8. Большаков А.Г. Городские ландшафты исторического центра Иркутска: принципы реконструкции // Проект Байкал. 2009. № 20. С. 140–144.
9. Зоркин В.И. Иркутские градоначальники. Кн. 2: Губернаторы и генерал-губернаторы (1765–1805). Иркутск: Изд-во ИГУ, 2015. 847 с.
10. Оглы Б.И. Формирование центров крупных городов Сибири. Градостроительные и социально-культурные аспекты. Новосибирск: Изд-во Новосибирского университета, 1999. 167 с.
11. Бубис Н.Г. Регулирование застройки дореволюционного Иркутска: основные положения // Проект Байкал. 2010. № 26. С. 148–152. <https://doi.org/10.7480/projectbaikal.26.162>.
12. Бубис Н.Г. Возникновение и основные этапы развития Иркутска // Земля Иркутская. 2001. № 15. С. 2–7.
13. Беспалова Л.Г. Сибирский просветитель. Свердловск: Средне-Уральское книжное изд-во, 1973. 143 с.
14. Воробьева В.В. Типы городских поселений юго-восточной Сибири // Вопросы географии. Сб. 45: География городских и сельских поселений. М.: Географиз, 1959.

REFERENCES

1. Yarovoi B.P. Architectural silhouette of the Irkutsk wooden Kremlin in the urban landscape. Preliminary experiments with graphic and mock-up reconstruction and computer modeling with reference to the historical location. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2021;11(1):192-203. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-1-192-203>. EDN: CQQZDZ.
2. Selivanov R.A. The experience of regulating development in the historical city in the XVIII–XIX centuries. on the example of Irkutsk. Irkutsk: Irkutsk national research technical university; 2020. p. 106. (In Russ.).
3. Monastyrskaya M.E. Cottage development in European urban planning of the second half of the XIX–XX century. Saint Petersburg: Saint Petersburg state university of architecture and civil engineering; 2017. 492 p. (In Russ.).
4. Krasheninnikov A.V. Cognitive urbanism: archetypes and prototypes of the urban environment. Moscow: Kurs; 2020. 210 p. (In Russ.).
5. Tschenkov A.C. The problem of successive development of traditional building of russian small towns. In: *Fundamental, exploratory and applied research of the Russian Academy of Sciences on scientific support for the development of architecture, urban planning and the construction industry of the Russian Federation in 2017: collection of scientific papers of the Russian academy of architecture and building sciences*. Moscow: PH Association of Construction Universities; 2018. Vol. 1. p. 274-279. (In Russ.).
6. Monastyrskaya M.E., Peslyak O.A. Modern methods of delimiting the boundaries of urban agglomerations.

Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova = Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019;2:111-121. (In Russ.).

https://doi.org/10.12737/article_5c73fc21703586.16507052. EDN: YXMXRJ.

7. Bolshakov A.G. Evaluation of building morphotypes as a reflection of the interests and values of the urban community and their balance as a principle of urban regeneration of the historical center. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Proceedings of Irkutsk State Technical University.* 2012;9:89-97. (In Russ.).

8. Bolshakov A.G. Urban landscapes of the historical center of Irkutsk: principles of reconstruction. *Proekt Baikal = Project Baikal.* 2009;20:140-144. (In Russ.).

9. Zorkin V.I. Irkutsk mayors. Book 2: Governors and Governors-General (1765-1805). Irkutsk: Irkutsk State University; 2015. 847 p. (In Russ.).

10. Ogly B.I. Formation of the centers of large cities of Siberia. Urban planning and socio-cultural aspects. Novosibirsk: Novosibirsk University; 1999. 167 p. (In Russ.).

11. Bubis N.G. Regulation of the development of pre-revolutionary Irkutsk: basic provisions. *Project Baikal.* 2010;26:148-152. (In Russ.). <https://doi.org/10.7480/projectbaikal.26.162>.

12. Bubis N.G. The emergence and main stages of the development of Irkutsk. *Land of Irkutsk.* 2001;15:2-7. (In Russ.).

13. Bepalova L. Siberian educator. Sverdlovsk: Sredne-Uralsky book PH; 1973. 143 p. (In Russ.).

14. Vorobyova V.V. Types of urban settlements in south-eastern Siberia. Questions of geography. Collection 45: Geography of urban and rural settlements. Moscow: Geografiz; 1959.

Информация об авторе

Селиванов Роман Александрович,
кандидат архитектуры,
доцент кафедры архитектурного
проектирования,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
✉e-mail: romanseliva@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4247-8622>
Author ID: 812068

Information about the author

Roman A. Selivanov,
Candidate of Architecture,
Associate Professor of the Department
of Architectural Design,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
✉e-mail: romanseliva@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4247-8622>
Author ID: 812068

Вклад автора

Автор провел исследование, подготовил
рукопись к печати и несет ответственность за
плагиат.

Contribution of the author

Autor has conducted the study, prepared the
manuscript for publication and bears the
re-sponsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта
интересов.

Conflict of interests

The author declare no conflict of interests
regard-ing the publication of this article.

Автор прочитал и одобрил окончательный
вариант рукописи.

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

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 23.11.2023.
Одобрена после рецензирования 20.12.2023.
Принята к публикации 25.12.2023.

Information about the article

The article was submitted 23.11.2023.
Approved after reviewing 20.12.2023.
Accepted for publication 25.12.2023.

**Влияние технических регламентов безопасности на формообразование в архитектуре в РФ на примере дома «Горы» (The Mountain) / бюро BIG, Дания****М.Б. Хадеев¹**¹Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

Аннотация. В статье дана оценка влияния технических регламентов на формообразование в российской архитектуре. В первой части представлено описание выдающегося архитектурного объекта – дом «Гора» в Копенгагене. Он состоит из многоквартирной жилой части и автостоянки, расположенной как под жилой частью, так и на одном уровне с жилой. Такая компоновка является необычной и эффектной, а квартиры – комфортными. Данное решение признано в Дании безопасным и экологичным. Во второй части статьи этот объект рассмотрен с точки зрения российских строительных норм и правил. Показано, что некоторые пункты противопожарные и санитарные правил делают невозможным подобный архитектурный подход, а точнее сказать, диктуют только стандартные проектные решения. Российская строительная отрасль имеет чрезмерное регулирование, ограничивающее архитекторов в создании новых проектных решений, являющихся допустимыми в Дании. Кроме этого существует множество архитектурных решений, применяемых в мировом строительстве, но невозможных или труднореализуемых в наших условиях. Российские архитекторы лишены многих инструментов создания выразительных пространства и формы. Представляется необходимым участие архитекторов в анализе обоснованности и разработке строительных норм.

Ключевые слова: архитектура, формообразование, дом «Гора», BIG, технические регламенты, строительные своды правил

Для цитирования: Хадеев М.Б. Влияние технических регламентов безопасности на формообразование в архитектуре в РФ на примере дома «Горы» (The Mountain) / бюро BIG, Дания // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 1. С. 216–228. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-1-216-228>. EDN: FBWXCN.

Original article**Effect of Technical Safety Regulations on Form-Making in Russian Architecture on the Example of the Mountain Dwellings by BIG in Denmark****Mikhail B. Khadeev¹**¹Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. The article assesses the effect of technical regulations on form-making in Russian architecture. The first part describes an outstanding architectural object, the Mountain Dwellings in Copenhagen. It consists of a housing block and parking spaces located both under the residential part and on the same level as apartments. This arrangement is unusual and spectacular, while the apartments are comfortable. In Denmark, this solution is recognized as safe and environmentally friendly. The second part of this article considers this project from the perspective of Russian building codes and regulations. Certain fire and sanitary regulations are shown to make such an architectural approach impossible or, to be more precise, dictate only standard design solutions. The Russian construction industry is over-regulated, restricting architects from creating new design solutions that are acceptable in Denmark. In addition, a large number of architectural solutions used in global construction cannot be realized or are difficult to implement under our conditions. Russian architects are denied many of the tools to create expressive space

and form. It seems necessary to involve architects in the validity analysis and development of building codes.

Keywords: architecture, shaping, The Mountain, BIG, technical regulations, building codes

For citation: Khadeev M.B. Effect of Technical Safety Regulations on Form-Making in Russian Architecture on the Example of the Mountain Dwellings by BIG in Denmark. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'* = *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(1):216-228. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-1-216-228>. EDN: FBWXCN.

ВВЕДЕНИЕ

Как известно, при проектировании зданий архитекторы и проектировщики руководствуются действующими в данной стране техническими регламентами безопасности и строительными нормами.

Подразумевается, что при выполнении регламентов и норм обеспечивается максимальная безопасность людей и имущества. Несмотря на то, что специалисты всех стран одинаковы в стремлении к максимальной разумной безопасности, в разных странах строительные нормы отличаются. Эти отличия ведут к качественным отличиям в возможностях формообразования. В мировой практике реализованы интересные нестандартные архитектурные решения, которые в России кажутся противоречащими действующим нормам. Тем не менее в тех странах считается, что данные проекты зданий обеспечивают безопасность эксплуатации и комфорт. В качестве примера выбран проект дома «Гора» (The Mountain) (рис.1).

Гора /The Mountain (Mountain Dwellings)

Архитекторы: PLOT: PLOT = BIG-Bjarke Ingels Group + JDS Architects.

Год: 2003–2008.

Место: Копенгаген, Дания.

Площадь: 33000 м², 1/3 жилье, 2/3 автостоянка. 80 квартир, 480 парковочных мест.

Награды:

– 2011 г. Премия Йорна Утзона «Статуэтка за бетонный элемент» (Jørn Utzon Statuette Concrete Element Award);

– 2009 г. Международная архитектурная премия Chicago Athenaeum (Chicago Athenaeum International Architecture Award);

– 2009 г. Премия Института городских земель за выдающиеся достижения (Urban Land Institute Award for Excellence);

– 2009 г. Премия Мис Ван Дер Роэ, почетное упоминание (Mies Van Der Rohe Award Honourable Mention);

– 2009 г. Премия MIPIM (Лучшее жилье) (MIPIM Award (Best Housing));

– 2008 г. Премия Forum Aid (Лучшая скандинавская архитектура) (Forum Aid Award (Best Nordic Architecture));

– 2008 г. Всемирный фестиваль архитектуры (Лучшее жилье) (World Architecture Festival (Best Housing));

– 2008 г. Премия Дерево (Wood Award).



Рис. 1. Общий вид
Fig. 1. General view

После успеха соседних домов VM (один из первых проектов Бьярке Ингельса, выполненный в 2005 г. в сотрудничестве с его бывшим

партнером Жюльеном де Смедтом, ныне работающим в JDS Architects), девелопер Пер Хепфнер захотел построить еще один многоквартир-

тирный дом. Когда он обнаружил, что парковочная компания планирует строительство гаража на выбранном им участке, Хепфнер согласился стать подрядчиком обоих проектов. Он обратился к Bjarke Ingels Group (BIG), чтобы объединить две функции (программы) на участке площадью 86 000 квадратных футов. Mountain Dwellings (The Mountain) – продолжение жилых домов VM. Тот же заказчик, тот же размер и та же улица. По заданию здание состоит из 2/3 парковки и 1/3 жилья. Скошенная под углом верхняя треть здания отведена под жилье, а нижние две трети – под парковку для жителей «Горы» и VM. «Это скорее симбиотические отношения, чем недружественное соседство», – говорит Бьярке Ингельс и называет его «...настоящим гибридным проектом». «Что, если парковочная зона станет базой для размещения таунхаусов – подобно бетонному склону холма, покрытому тонким слоем жилья, спускающемуся каскадом с 11-го этажа к краю улицы? Вместо того, чтобы строить два отдельных здания рядом друг с другом – парковку и жилой блок – мы решили объединить две функции в симбиоз» и «Копенгаген в основном равнинный, поэтому, если вам нужен красивый южный склон с видом, вы должны сделать это сами» – говорит автор Бьярке

Ингельс [1]. «Гора» выглядит как пригородный район с садовыми домами, стоящими на 10-этажном здании. Таким образом The Mountain предлагает лучшее из двух типов жизни: близость к оживленной городской жизни в центре Копенгагена и спокойствие загородной жизни. Домам нужен солнечный свет, свежий воздух и виды, поэтому все квартиры имеют обращенные к солнцу сады на крыше, потрясающие виды и парковку на одном уровне с квартирой. Если стеклянные дома VM – это открытость, то Mountain Dwellings – это упражнение уединения. «Это похоже на тезис и антитезис», – говорит Бьярке Ингельс.

ФОРМООБРАЗОВАНИЕ

Схема образования концепции объясняет то, как была достигнута окончательная форма. Было принято решение собрать все функции в один объем через наклонную форму этого объема, его адаптацию к плану соседнего дома VM.

Нужно было создать городское пространство, ограниченное ломаными фасадами, с пандусной системой, направленной внутрь парковки, с сеткой 10×10 м, формирующей жилую часть, и, наконец, расположить все в шахматном порядке, чтобы каждый «дом» находился ниже террасы вышестоящего (рис. 2) [2].

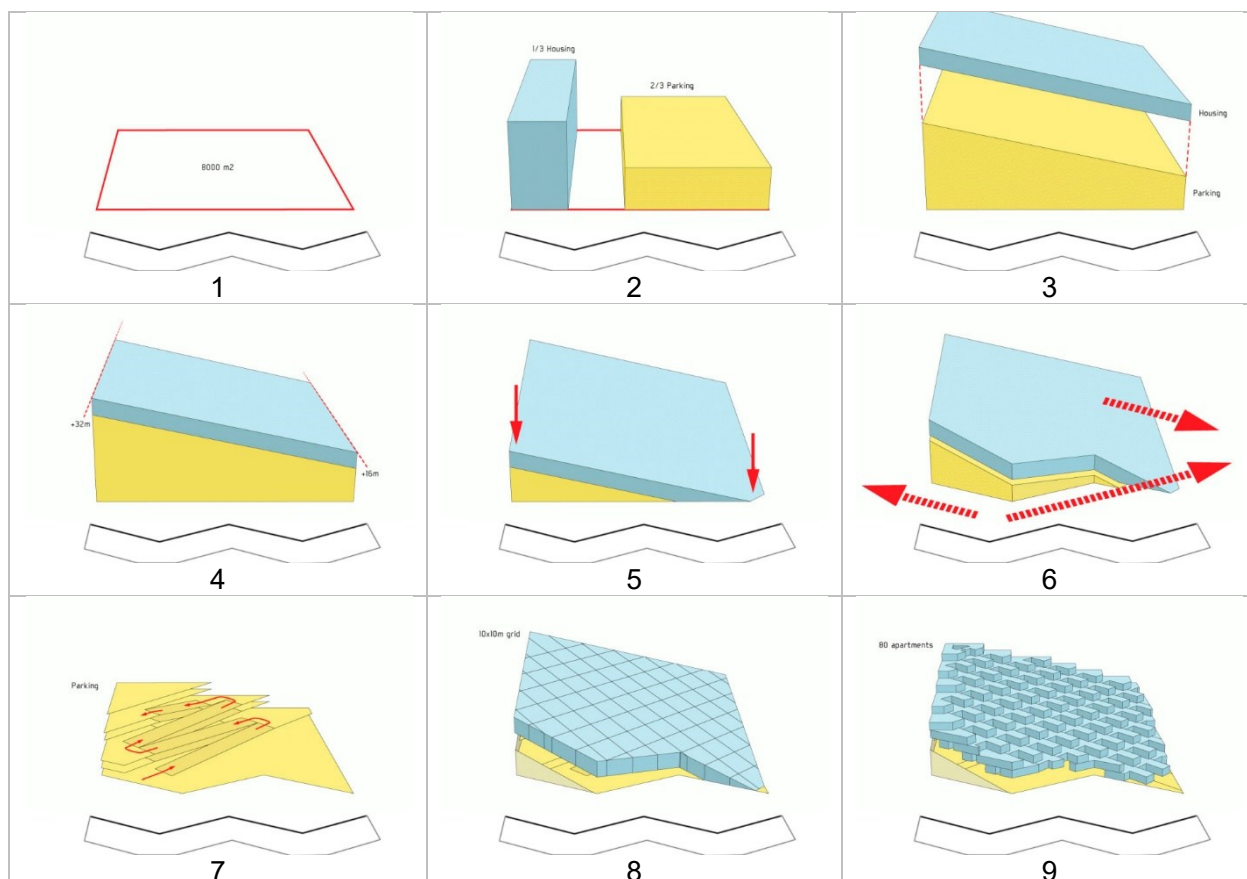


Рис. 2. Схема формообразования, представленная архитекторами
Fig. 2. Shape-formation scheme presented by the architects

ПАРКОВКА

Гигантская парковка рассчитана на 480 парковочных мест для жителей «Горы» и соседнего жилого комплекса VM. Жильцы первыми в Орестаде получили возможность парковаться прямо возле своих квартир.

Помещение парковки просторное, высотой до 16 м. Нижняя часть каждого уровня квартир покрыта алюминием, окрашенным в характерную цветовую схему.

Центральное парковочное пространство также служит атриумом, через который проходят функциональные связи здания и предоставляется доступ к квартирам.

Коридор каждого жилого уровня огорожен и обшит металлом как внутри, так и снаружи. Он и пол окрашен в те же оттенки, которые преобладают в основном пространстве.

Цвета символически меняются от зеленого внизу к желтому, оранжевому, темно-оранжевому, ярко-розовому, пурпурному и ярко-синему, обозначающему небо.

Образ «Горы» продолжается фуникулером (наклонным лифтом швейцарского производства), который перемещается вдоль внутренних стен и соединяет автостоянку с жилыми ко-

ридорами – практичное решение, которое заменяет то, что в противном случае было бы 11 лифтами.

Ряд металлических лестниц поднимается через основное пространство парковки, обеспечивая доступ к коридорам через подвесные бетонные переходы промышленного вида (рис. 3).

КВАРТИРЫ

Здание покрыто слоем из 80 квартир-пентхаусов. Каждая квартира имеет L-образную планировку и террасу с небольшим садом снаружи, расположенным на крыше передней квартиры нижнего уровня. Единственное, что отделяет квартиру от сада – стеклянный фасад с раздвижными дверями, которые обеспечивают свет и свежий воздух. Все квартиры ориентированы на юг и имеют большие застекленные площади или окна, которые пропускают солнечный свет. Поэтому здание отапливается, освещается и охлаждается естественным образом. Также предусмотрена встроенная система полива – дождевая вода собирается для полива растений в засушливый сезон. Сад меняет свой облик в зависимости от сезона (рис. 4).

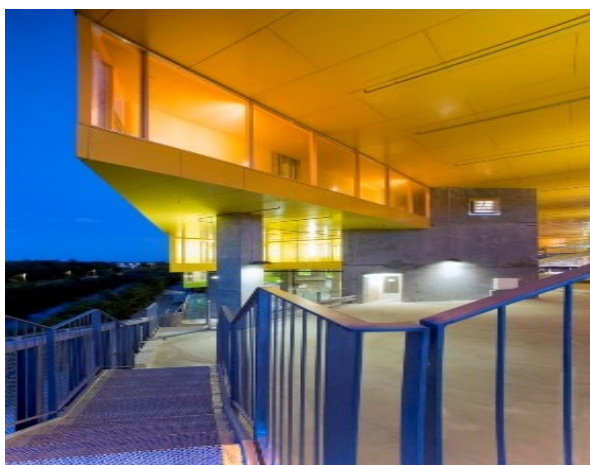
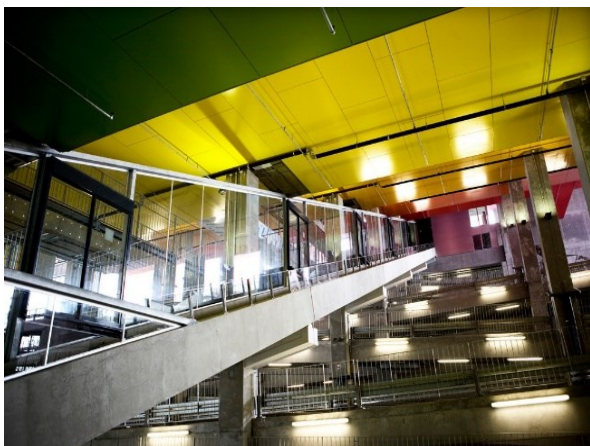


Рис. 3. Интерьер автостоянки
Fig. 3. Interior of the parking lot



Рис. 4. Террасы при каждой квартире
Fig. 4. Terraces for each apartment

ФАСАДЫ

Фасады квартир, обращенные в сторону сада, облицованы необработанным деревом, чтобы усилить ощущение органичности и спокойствия обстановки. Парковка (северный и западный фасады) защищена от ветра и дождя огромными перфорированными алюминиевыми пластинами, пропускающими свет и обеспечивающими естественную вентиляцию, чему способствует высота здания.

Отверстия в фасаде образуют огромное изображение горы Эверест.

Днем отверстия в алюминиевых пластинах кажутся черными на ярком алюминии, а гигантская картинка напоминает грубую растровую фотографию.

В ночное время фасад подсвечивается изнутри и предстает в виде фотонегатива разных цветов, так как каждый этаж парковки окрашен в разные цвета (рис. 5).



Рис. 5. Фрагменты фасада и интерьера
Fig. 5. Fragments of the facade and interior

ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ

Площадь участка 86 000 квадратных футов ($\approx 8000\text{ м}^2$). Размер здания в плане $\approx 84 \times 90$ м. Площадь 1 этажа $\approx 6710\text{ м}^2$. Этажность – 11 (количество этажей 12). Высота кровли максимальная ≈ 32 м. Фасады парковки с двух и трех сторон имеют значительные открытые

ТЕХНИЧЕСКОЕ

проемы и перфорацию. Парковка располагается с подземного до пятого этажа. Над парковкой с шестого по восьмой этаж располагаются общественные помещения. Поэтажные коридоры (галереи) жилой части остеклены, разделены дверями.

Переходы на лестничные клетки также остеклены. Всего восемь лестничных клеток.

Естественное освещение не предусмотрено. Выходы с лестничных клеток на первом этаже проходят через парковку, а выход с подземного этажа отделен от лестницы наземной части. На лестничных клетках забежные ступени (с поворотом), поворот марша без площадки. Со второго по восьмой жилой этаж по две лестничных

клетки, а также центральная открытая лестница и центральный подъемник до восьмого этажа. С 9 по 11 жилой этаж одна лестничная клетка. На парковке распределенные лестничные клетки, лифты и две открытые лестницы третьего типа (рис. 6)¹. Класс функциональной пожарной опасности жилой части Ф1.3.

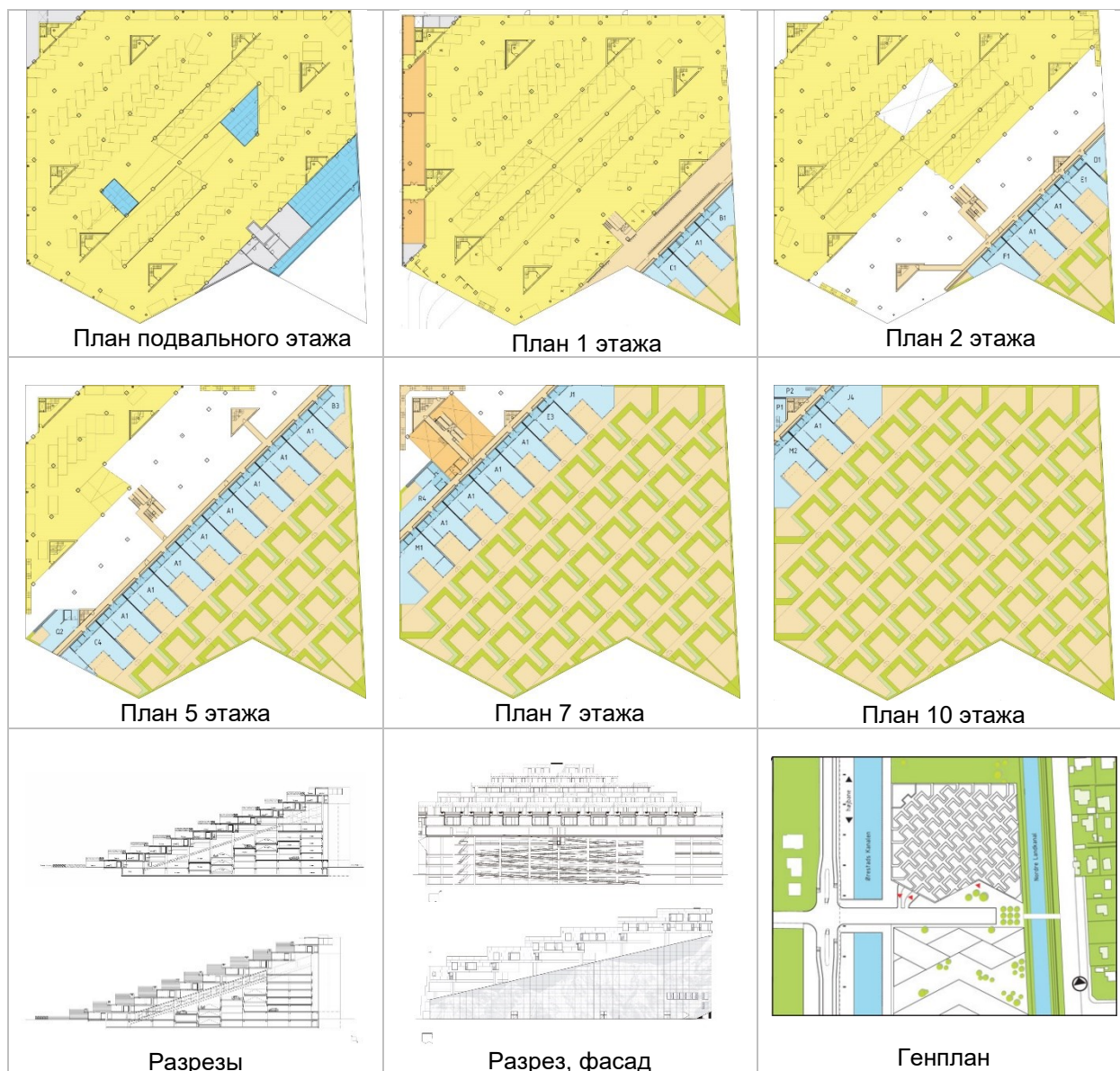


Рис. 6. Чертежи – схемы планов, разрезы, фасад, генплан
Fig. 6. Drawings – plans, sections, facade, general plan

¹Материалы взяты из следующих источников:

Text description provided by the architects, "Mountain Dwellings // ArchDaily. Режим доступа: <https://www.archdaily.com/15022/mountain-dwellings-big> (дата обращения: 05.02.2024).

Basulto D. In Progress: Mountain Dwellings / BIG // ArchDaily. 2008. Режим доступа: <https://www.archdaily.com/1581/in-progress-mountain-dwellings-big> (дата обращения: 05.02.2024).

BIG, The Mountain. Режим доступа: <https://archello.com/project/the-mountain> (дата обращения: 05.02.2024).

The Mountain. Режим доступа: <https://www.miesarch.com/work/1403> (дата обращения: 05.02.2024).

Mountain Dwellings, Copenhagen. Режим доступа: <https://arquitecturaviva.com/works/viviendas-mountain-0> (дата обращения: 05.02.2024).

The Mountain Employs Passive Design. Режим доступа: https://www.solaripedia.com/13/333/3958/the_mountain_ground_floor_plan.html (дата обращения: 05.02.2024).

**КОНЦЕПЦИЯ «ГОРЫ» С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ
РОССИЙСКИХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕГЛА-
МЕНТОВ БЕЗОПАСНОСТИ**

Независимо от того, стоит ли рассматривать данное здание как жилое многоквартирное или многофункциональное, его жилая часть должна соответствовать требованиям к жилым многоквартирным зданиям.

Согласно СП 160.1325800.2014 (Здания и комплексы многофункциональные), п. 6.2.1, п. 8.1, к жилым помещениям требования следует принимать в соответствии с СП 54.13330 (Здания жилые многоквартирные), в том числе санитарно-эпидемиологические требования; согласно п.6.3.1 к помещениям автостоянок требования следует принимать в соответствии с СП 113.13330 (Стоянки автомобилей).

1. Прямого запрета российскими нормами на размещение автостоянок в надземных этажах жилых домов обнаружить не удалось, но косвенно речь идет именно о размещении автостоянок в подземных и цокольных этажах.

В СП 113.13330.2016 (Стоянки автомобилей), п. 4.12, представлены требования к размещению в жилых и общественных зданиях подземных и полуподземных стоянок автомобилей; в п.4.16 представлено требование размещать встроенные и встроенно-пристроенные стоянки автомобилей в подвальных и цокольных этажах жилых домов с соблюдением условий СанПиН 2.1.2.2645.

Речь идет о размещении автостоянок в подземных и цокольных этажах. Норма сформулирована так, будто допускается размещении автостоянок в надземных этажах при соблюдении нормируемого расстояния от въезда, что при необходимости можно выполнить, и так, будто при размещении автостоянок в надземных этажах не следует выполнять условия СанПиН 2.1.2.2645. В СП 506.1311500.2021 (Стоянки автомобилей, требования пожарной безопасности), п. 5.6, говорится, что в зданиях класса функциональной пожарной опасности Ф1.3 (многоквартирные жилые дома) допускается встраивать стоянки автомобилей закрытого типа. В зданиях класса С0 и С1 I и II степеней огнестойкости в нижнем этаже (первом, либо цокольном) разрешается устраивать открытые одноуровневые автостоянки для жильцов. В данном требовании разрешается устройство надземной автостоянки, но только на первом этаже и только открытой. Из контекста можно предположить, что размещение автостоянки иным образом не допускается. В СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 (Санитарно-защитные зоны), таблица 7.1.1., указаны требования к расстоянию от фасадов жилых домов и тор-

цов с окнами. Для открытых автостоянок и паркингов вместимостью свыше 300 машино-мест минимальное расстояние составляет 50 м. В Примечании 4 к таблице говорится о расположении подземных и полуподземных автостоянок в жилом доме и требованиям к ним.

В проекте «Горы» автостоянки скорее закрытые, то есть требования для открытых автостоянок к данному случаю не относятся.

Расположение в надземных этажах не описано, будто бы возможно размещение автостоянки в надземных этажах при соблюдении нормируемого расстояния от въезда.

2. Жилые этажи должны отделяться от автостоянок нежилым этажом.

В СП 54.13330.2016 (Здания жилые многоквартирные), п. 9.33 говорится о том, что между жилыми этажами и этажом стоянки автомобилей необходимо располагать этаж с нежилыми помещениями или технический этаж для защиты от шума и выхлопных газов.

В СанПиН 2.1.3684-21 (Санитарно-эпидемиологические требования к ... жилым помещениям), п. 34. говорится о том, что в многоквартирных домах между жилой частью здания и автостоянками необходимо располагать этаж нежилого назначения.

С учетом данных норм концепция «Горы» становится невозможной, так как должны появиться нежилые помещения, площадью не менее жилой части, и скорее всего без естественного освещения и со сложными связями.

3. Сообщение жилой части с автостоянкой в пределах этажа не допускается.

В СП 113.13330.2016 (Стоянки автомобилей), п. 5.1.16 говорится о том, что сообщение между жилой частью и стоянкой автомобилей в пределах этажа не допускается в зданиях подкласса функциональной пожарной опасности Ф1.3 (многоквартирные жилые дома). То же требование повторяется в СП 4.13130.2013 (Ограничение распространения пожара на объектах защиты), п. 6.11.9 и в СП 506.1311500.2021 (Стоянки автомобилей Требования пожарной безопасности), п. 5.11. В то же время для помещений другого назначения сообщение с автостоянкой возможно, согласно СП 4.13130.2013 (Ограничение распространения пожара на объектах защиты), п. 6.11.9 при устройстве тамбур-шлюза 1-го типа с подпором воздуха при пожаре допускается сообщение пристроенных или встроенных стоянок автомобилей с частью здания иного назначения в пределах этажа в жилых и общественных зданиях (кроме некоторых).

То же самое требование повторяется в СП 113.13330.2016 (Стоянки автомобилей),

п. 5.1.16 и в СП 506.1311500.2021 (Стоянки автомобилей Требования пожарной безопасности), п. 5.11.

Данное требование противоречит концепции «Горы», так как автостоянка располагается не только под жилыми помещениями, но и сбоку, с сообщением в пределах этажа. Хотя вероятно, что формально данное требование возможно было бы выполнить, если сделать сообщение жилого этажа с автостоянкой не в одном этаже, а с ниже или выше расположенным этажом, сохранив концепцию проекта.

В СП 2.13130.2020 (Обеспечение огнестойкости объектов защиты), п. 6.3.3 говорится о том, что надземные автостоянки допускается пристраивать к зданиям другого назначения только к глухим стенам, с пределом огнестойкости REI 150. То же самое требование повторяется в СП 113.13330.2016 (Стоянки автомобилей), п. 4.2 и в СП 113.13330.2016 (Стоянки автомобилей), п. 4.4. Если следовать данному требованию устройства глухих противопожарных стен, концепция художественного образа интерьера автостоянки «Горы» изменится в худшую сторону.

4. В описании проекта авторы определяют автостоянку как открытую с естественной вентиляцией через значительные проемы и перфорацию в стенах.

Согласно российским нормам в жилых домах Ф1.3 встроенные автостоянки должны быть только закрытого типа. Фактически автостоянка «Горы» также является скорее закрытой, то есть противоречия нет.

В СП 113.13330.2016 (Стоянки автомобилей), п. 4.9 говорится о том, что стоянки автомобилей допускается встраивать только в закрытого типа здания подкласса функциональной пожарной опасности Ф1.3 (многоквартирные жилые дома).

То же самое требование повторяется в СП 4.13130.2013 (Ограничение распространения пожара на объектах защиты), п. 6.11.7 и в СП 506.1311500.2021 (Стоянки автомобилей, требования пожарной безопасности), п. 5.6.

В СП 506.1311500.2021 (Стоянки автомобилей, требования пожарной безопасности), п. 5.6 также говорится о том, что допускается встраивать стоянки автомобилей закрытого типа в здания класса функциональной пожарной опасности Ф1.3 (многоквартирные жилые дома).

Причем в зданиях класса С0 и С1 I и II степеней огнестойкости допускается предусматривать открытые одноуровневые автостоянки автомобилей (только для жильцов) в нижнем этаже (первом, либо цокольном).

Определение открытой/закрытой автостоянки:

Согласно СП 113.13330.2016 (Стоянки автомобилей), п. 3.6 наземной стоянкой автомобилей открытого типа является стоянка автомобилей в которой площадь открытых проемов составляет не менее 50 % площади внешней поверхности наружных ограждений на каждом ярусе (этаже), остальная площадь – парапеты; п. 5.2.13 открытые проемы допускается закрывать крупноячеистой сеткой, а также над открытыми проемами следует предусматривать козырьки из негорючих материалов для уменьшения воздействия атмосферных осадков.

При этом в соответствии с требованиями пожарной безопасности должно быть обеспечено сквозное проветривание этажа.

Согласно СП 506.1311500.2021 (Стоянки автомобилей, требования пожарной безопасности), п. 6.3.2 наземной стоянкой открытого типа является стоянка, которая с двух противоположных сторон наибольшей длины открыта.

Общая площадь открытых проемов в наружных ограждениях на каждом этаже (ярусе) должна быть не менее 50 % площади поверхности наружных конструкций.

Также указывается что над открытыми проемами могут предусматриваться козырьки из негорючих материалов для уменьшения воздействия атмосферных осадков.

В проемах наружных ограждающих конструкций допускается использовать сетки с живым сечением не менее 90 % из негорючих материалов.

С учетом обеспечения проветривания автостоянки возможно применение других защитных устройств.

Автостоянка «Горы», если не вдаваться в подсчеты открытых проемов, скорее всего, является закрытой.

Дополнительные требования к открытым автостоянкам – ограничение ширины открытой автостоянки 40 м при отсутствии механической и противодымной вентиляции.

Согласно СП 4.13130.2013 (Ограничение распространения пожара на объектах защиты), п. 6.11.23 в зданиях надземных автостоянок для легковых автомобилей открытого типа ширина здания (расстояние между проемами в наружных стенах) не должна превышать 40 м, если в здании отсутствует естественная вытяжная противодымная вентиляция (тяга с механическим побуждением).

Причем высота парапетов не должна быть больше 1 м. То же самое требование повторяется в СП 113.13330.2016 Стоянки автомобилей, п. 5.2.11.

Впрочем, данное требование компенсируется инженерным оборудованием при необходимости.

НЕСООТВЕТСТВИЯ, НЕ ОКАЗЫВАЮЩИЕ ПРИНЦИПИАЛЬНОГО ВЛИЯНИЯ НА КОНЦЕПЦИЮ

Кроме принципиальных несоответствий российским нормам в проекте «Горы» есть несколько несоответствий, которые возможно адаптировать без существенного ущерба концепции и художественному образу.

1. Расстояние от проемов автостоянки до низа окон жилой части.

Согласно СП 113.13330.2016 (Стоянки автомобилей), п. 4.6 для ограничения распространения пожара требуется расстояние не менее 4 м от низа оконных и других проемов здания иного функционального назначения до проемов стоянки автомобилей, встроенных или пристроенных к зданиям другого класса функциональной пожарной опасности. Данное требуемое расстояние можно не учитывать при условии устройства противопожарного заполнения указанных проемов, либо при устройстве над проемами стоянки автомобилей глухого козырька из негорючих материалов. Козырек должен быть шириной не менее 1 м и перекрывать ширину проема не менее чем на 0,5 м с каждой стороны.

При устройстве противопожарных окон или глухих козырьков в здании «Горы» данное требование не окажет существенного влияния на концепцию.

2. Проезд в автостоянке к подземной части через первый этаж.

Согласно СП 113.13330.2016 (Стоянки автомобилей), п. 5.1.33 из подземных этажей стоянок автомобилей не разрешается устраивать въезд/выезд через зону автостоянки на цокольном или первом этаже. Поскольку в здании имеется один подземный этаж автостоянки, потребуется устройство дополнительного выезда, что не мешает концепции.

3. Противопожарные преграды, площадь отсеков.

Согласно СП 113.13330.2016 (Стоянки автомобилей), п. 5.1.37 в автостоянках закрытого типа двух и более этажей, общие для всех этажей автостоянки ramпы должны отделяться от зон хранения автомобилей противопожарными преградами, воротами на каждом этаже. Данное требование не делает невозможной концепцию, но сильно ухудшит художественный образ интерьера, так как появляется много закрытых пространств вместо одного большого пространства атриума. Согласно СП 2.13130.2020 (Обеспечение огнестойкости объектов защиты), п. 6.3.2, таб. 6.6 площадь

этажа надземной автостоянки закрытого типа в пределах пожарного отсека для многоэтажных зданий должна составлять не более 5200 м².

В рассматриваемом здании площадь автостоянки ≈22000 м², то есть вместо общего атриума потребуется разделение на четыре или пять пожарных отсеков. Художественный образ интерьера автостоянки сильно ухудшится, а возможно нарушится и концепция проекта.

4. Лестницы.

Согласно СП 2.13130.2020 (Обеспечение огнестойкости объектов защиты), п. 5.4.16, пп. б) требуется устройство окон в наружных стенах лестничных клеток (типа Л1, Н1 и Н3) на каждом надземном этаже (согласно СП 1.13130). Согласно СП 1.13130.2020 (Эвакуационные пути и выходы), п. 4.4.12 в лестничных клетках требуются световые проемы в наружных стенах на каждом этаже, с площадью остекления не менее 1,2 м и шириной не менее 0,6 м.

В то же время для нежилых зданий, согласно СП 1.13130.2020 (Эвакуационные пути и выходы), п. 4.4.12, в каждом пожарном отсеке зданий допускается устраивать без световых проемов не более 50 % эвакуационных лестничных клеток (классов Ф2-Ф4, Ф5 категорий Г, Д и Ф5 категории В, высотой до 28 м).

В проекте лестничные клетки не располагаются у наружных стен, то есть чтобы окна лестничных клеток располагались в наружных стенах, их бы пришлось передвинуть к наружным стенам, что ограничило бы ширину здания нормативным расстоянием между лестничными клетками в 80 м.

Согласно СП 1.13130.2020 (Эвакуационные пути и выходы), п. 6.1.14 входы, эвакуационные выходы и пути эвакуации части здания общественного назначения должны быть изолированы от жилой части здания.

Согласно СП 1.13130.2020 (Эвакуационные пути и выходы), 8.4.2 для эвакуации людей не допускается использовать общие лестничные клетки, необходимые для функциональной связи между частями здания другого назначения (в том числе с вестибюлем) и встроенными автостоянками.

При следовании данным требованиям расположение и количество лестничных клеток вероятно должно измениться, но возможно в рамках общей концепции.

На фасадах должны будут проявиться окна и объемы лестниц. Согласно СП 1.13130.2020 (Эвакуационные пути и выходы), п. 4.3.6 не допускается на путях эвакуации устройство криволинейных в плане лестниц, а также лестниц с забежными ступенями и ступеней где ширина проступи различается.

В проекте в лестничных клетках именно забежные ступени, что позволят сделать лестничные клетки более компактными.

5. Общественные помещения должны размещаться не выше третьего этажа.

Согласно СП 4.13130.2013 (Ограничение распространения пожара на объектах защиты), п. 5.2.7 в многоквартирных жилых зданиях встроенные и встроенно-пристроенные помещения иного назначения допускается располагать в подвальном, цокольном, первом, втором (в крупных городах в третьем) этажах. В этом случае общественные помещения необходимо отделять от помещений жилой части противопожарными перегородками и перекрытиями без проемов.

То же самое требование повторяется в СП 54.13330.2016 Здания жилые многоквартирные, п. 4.10². Данное требование не влияет на общую концепцию «Горы», поскольку количество общественных помещений, расположенных на верхних этажах, незначительно, но показывает, что в Дании объемно-планировочных ограничений меньше.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате рассмотрения данного объекта с учетом российских норм становится очевидно, что подобная концепция становится практически невозможной, а проектное решение объединения жилого дома с автостоянкой с большой степенью вероятности принимает стандартный вид (рис. 7).

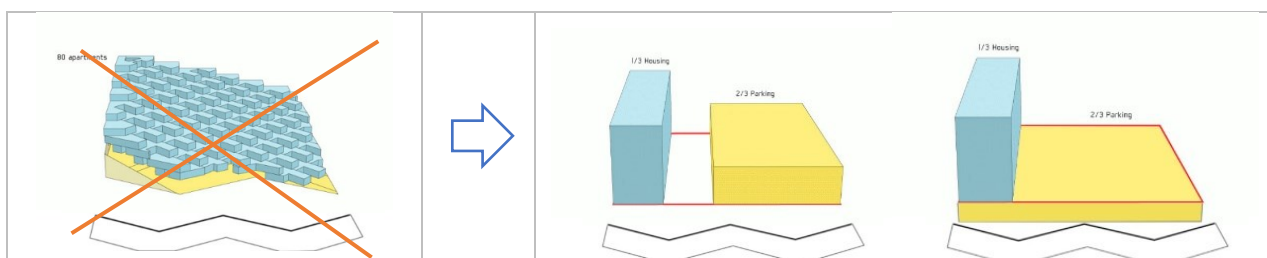


Рис.7. Проектное решение принимает стандартный вид
Fig.7. The project takes on a standard form

Исследования, посвященные теме формообразования в архитектуре, проводятся в России [3], в том числе касающиеся взаимодействия автостоянок и жилых комплексов [4–6], также имеются зарубежные исследования о влиянии норм на архитектуру [7].

С другой стороны, «...сравнение Российской Федерации и других стран мира именно по относительным показателям статистики пожаров показывает довольно печальную картину, согласно которой наша страна отстает по уровню пожарной безопасности населения в 10–15 раз от большинства стран с развитой экономикой. Один из таких показателей, показатель пожарного риска – это количество погибших граждан на 1 000 000 человек населения»³. Для сравнения в 2014 г. на 1000000 человек в России 70 погибших, в Швеции – 10, в Финляндии – 14. Смертность (death rate) в 2020 г. на 100000 человек: Россия – 3,25, Дания – 0,53, разница в шесть раз⁴. В Дании при

меньшей зарегулированности и, соответственно, при большей свободе объемно-планировочных решений жилье безопаснее в шесть раз.

Стандарты противопожарной защиты в США, Европе и России имеют много общего, но также есть и различия [8,9]. Например, в США больше внимания уделяется защите от дыма, а в Европе – от распространения огня. В Европе противопожарная защита регулируется Европейскими стандартами (European Standards, EN)⁵. EN устанавливает требования по пожарной безопасности для различных видов зданий и сооружений. Единая система классификации пожарной опасности (Euroclass) используется для оценки пожарной опасности различных строительных материалов и изделий [10–13]. В России противопожарная защита регулируется Федеральными законами, нормами и правилами [14–16]. Они устанавливают требования по противопожарной

²Российские строительные нормы. Своды правил (СП), СанПиНы.

³Статистика пожаров. Режим доступа: <https://ognetushiteli-op.ru/analitika/statistika-pozharov> (дата обращения: 05.02.2024).

⁴WorldHealthRankings. Fires. Death Rate, Data Source: World Health Organization. 2020. Режим доступа: <https://www.worldlifeexpectancy.com/cause-of-death/fires/by-country/> (дата обращения: 05.02.2024).

⁵HM Government, The Building Regulations 2010. Fire safety, 2019. Режим доступа: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/827919/Approved_Document_B_fire_safety_volume_2_buildings_other_than_dwellinghouses_2019.pdf (дата обращения: 05.02.2024).

безопасности зданий, сооружений, машин и оборудования⁶.

Относительно санитарных требований следует отметить, что Дания является одной из самых экологически чистых стран в мире, ориентированных на устойчивое развитие и баланс между экономическим развитием, индустриализацией и охраной природы. Экология здесь является национальной идеей и философией [17–18].

В концепции «Горы» наглядно представлены возможности формообразования посредством архитектурных решений, которые являются допустимыми и безопасными в Дании, но запрещены в РФ. Излишняя зарегулированность архитектурно-строительной отрасли

обедняет жилую среду и диктует стандартные проектные решения. Также следует отметить, что работа над «избыточными необоснованными ограничениями или обязанностями» в противопожарных нормах проводится Минэкономразвития России⁷.

Обоснованность тех или иных обязательных требований к объемно-планировочным решениям не всегда очевидна, и требования безопасности вполне могут быть не такими жесткими. Представляется необходимым и целесообразным, чтобы требования безопасности разрабатывались с участием архитекторов, заинтересованных в развитии новых перспективных сценариев жизни и нестандартной разнообразной архитектуры.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Bradley K. Making a Mountain. Bjarke Ingels adds a high-altitude feature to Copenhagen's flat landscape // *Metropolis Magazine*. 2008. Режим доступа: <https://metropolismag.com/programs/making-a-mountain/>. (дата обращения: 16.10.2023)
2. Basulto D. In Progress: Mountain Dwellings / BIG // *ArchDaily*. 2008. Режим доступа: <https://www.archdaily.com/1581/in-progress-mountain-dwellings-big> (дата обращения: 05.02.2023).
3. Сапрыкина Н.А. Основы динамического формообразования в архитектуре. М.: КУРС, 2022. 384 с.
4. Воропаев Л.Ю. Принципы проектирования автостоянок в жилых комплексах: автореф. дис. ... канд. арх.: 25.11.2015. Москва, 2015. 24 с.
5. Воропаев Л.Ю. Функциональное взаимодействие автостоянок и жилых комплексов // *Жилищное строительство*. 2017. № 8. С. 3–9. EDN: ZFTKQJ.
6. Воропаев Л.Ю., Гаврилова М.М. Взаимодействие факторов, влияющих на формирование автостоянок, встроенных в жилые комплексы // *Жилищное строительство*. 2016. № 10. С. 49–52. EDN: UULQVY.
7. Imrie R., Street E. Regulating Design: The Practices of Architecture, Governance and Control // *Urban Studies*. 2009. Vol. 46. Iss. 12. p. 2507–2518. <https://doi.org/10.1177/0042098009346068>.
8. Журавский А.А. Национальные нормативы и международные стандарты пожарной безопасности. Разные толкования и их последствия // *Периодический журнал: каталог пожарной безопасности*. 2020. № 1 (21)-2020. Режим доступа: <https://www.secuteck.ru/articles/nacionalnye-normativy-i-mezhdunarodnye-standarty-pozharnoj-bezopasnosti> (дата обращения: 05.02.2024).
9. Briggs J., Stocker P. National Regulations by countries. Fire and security National Regulations // *CFPAEUROPE*. 2021. Режим доступа: <https://cfpa-e.eu/national-regulations/> (дата обращения: 16.10.2023).
10. Ross L. Pyrotechnic Cities. Architecture, Fire-Safety and Standardisation. London: Routledge, 2022. 240 p.
11. Sims B. "Car park design must evolve to ensure fire safety" asserts IStructE // *Fire Safety Matters*. 2023. Режим доступа: <https://www.fsmatters.com/Car-park-design-must-evolve-for-fire-safety> (дата обращения: 16.10.2023).
12. Sheridan L., Visscher H., Meijer F. Buildings regulation on fire safety in Europe // *Proceedings of The CIB-CTBUH International Conference on Tall Buildings (Malaysia, 08–10 May 2003)*. Malaysia, 2003. 14 p.
13. Sprei F., Hult C., Hult Å., Roth A. Review of the Effects of Developments with Low Parking Requirements // *Sustainability*. 2020. Vol. 12. Iss. 5. 13 p. <https://doi.org/10.3390/su12051744>.
14. Новикова А.В., Грачева А.Н., Григорьева Е.М., Панфилова Е.В., Кузьмина В.А. Разработка сводов правил в области пожарной безопасности // *Актуальные проблемы пожарной безопасности: материалы XXXI Междунар. науч.-практ. конф. (г. Москва, 05–07 июня 2019 г.)*. М., 2019. С. 415–418. EDN: UUZMCM.
15. Мироньев А.В., Турсенев С.А. Методы технического регулирования пожарной безопасности объектов капитального строительства // *Пожарная безопасность общественных и жилых зданий. Нормативы,*

⁶Противопожарные нормы в США, Европе и России. Режим доступа: <https://www.complex-safety.com/stati-o-pozharnoj-bezopasnosti/protivopozharnye-normy-v-ssha-evrope-i-rossii/> (дата обращения: 16.10.2023).

⁷Пресс-центр НОПРИЗ, Обсуждаем законопроект об изменениях в «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», 2023. Режим доступа: <https://www.nopriz.ru/news/news.php?ID=34748> (дата обращения: 16.10.2023).

проектирование, устройство и эксплуатация: материалы науч.-техн. конф. (г. Санкт-Петербург, 22 ноября 2018 г.). СПб., 2018. С. 3–5. EDN: CJWEUG.

16. Безногих М.В. Сравнение зарубежных и российских норм для систем пожарной автоматики // Учебный центр «ТАКИР». 2023. Режим доступа: <https://takir.ru/vse-publikacii/sravnenie-zarubezhnyh-i-rossijskih-norm-dlja-sistem-pozharnej-avtomatiki-na-primere-nfpa-72-i-sp-484-1311500-chast-1-obshhie-principy-i-podhody/?ysclid=ls45pfix88970821011> (дата обращения: 02.02.2024).

17. Popov V.I., Capasso L., Klepikov O.V., Appolloni L., D'Alessandro D. Hygienic Requirements of Urban Living Environment in the Russian Federation and in Italy: a comparison // *Annali di Igiene: Medicina Preventiva e di Comunità*. 2018. Vol. 30. Iss. 5. P. 421–430. <http://dx.doi.org/10.7416/ai.2018.2242>.

18. Kunkel S., Kontonasiou E., Arcipowska A., Mariottini F., Atanasiu B. Indoor air quality, thermal comfort and daylight // *Indoor Air Quality, Thermal Comfort and Daylight. Analysis of Residential Building Regulations in Eight EU Member States*. Brussels: Buildings Performance Institute Europe, 2015. P.14–43.

REFERENCES

1. Bradley K. Making a Mountain. Bjarke Ingels Adds a High-Altitude Feature to Copenhagen's Flat Landscape. *Metropolis Magazine*. 2008. Available from: <https://metropolismag.com/programs/making-a-mountain/>. [Accessed 5th February 2024]
2. Basulto D. In Progress: Mountain Dwellings / BIG. ArchDaily. Available from: <https://www.archdaily.com/1581/in-progress-mountain-dwellings-big> [Accessed 5th February 2024].
3. Saprykina N.A. Fundamentals of Dynamic Shape Formation in Architecture. Moscow: KURS; 2022. 384 p. (In Russ.).
4. Voropaev L.Yu. Principles of designing parking lots in residential complexes. (In Russ.) Abstract of Ph.D. of Architecture. Moscow, 2015, 24 p.
5. Voropaev L.Yu., Functional interaction of parking lots and residential complexes. *Zhilishchnoe stroitel'stvo = Housing Construction magazine*. 2017;8:3-9. (In Russ.). EDN: ZFTKQJ.
6. Voropaev L.Yu. Gavrilova M.M. Interaction of factors influencing the formation of parking lots built into residential complexes. *Zhilishchnoe stroitel'stvo = Housing Construction magazine*. 2016; 10:49-52. (In Russ.). EDN: UULQVY.
7. Imrie R., Street E. Regulating Design: The Practices of Architecture, Governance and Control. *Urban Studies*. 2009;46;12:2507-2518. <https://doi.org/10.1177/0042098009346068>.
8. Zhuravskii A.A. National Regulations and International Fire Safety Standards. Different Interpretations and Their Consequences. *Katalog požarnoi bezopasnosti = Periodical magazine Fire Safety Catalog*. 2020;1(21)2020. Available from: <https://www.secuteck.ru/articles/nacionalnye-normativy-i-mezhdunarodnye-standarty-pozharnej-bezopasnosti>. [Accessed 5th February 2024]. (In Russ.).
9. Briggs J., Stocker P. National Regulations by countries. Fire and security National Regulations. *CFPAEUROPE*. Available from: <https://cfpa-e.eu/national-regulations/> [Accessed 5th February 2024]. (In Russ.).
10. Ross L. Pyrotechnic Cities. Architecture, Fire-Safety and Standardisation. London: Routledge; 2022. 240 p.
11. Sims B. "Car park design must evolve to ensure fire safety" asserts IStructE. *Fire Safety Matters*. Available from: <https://www.fsrmatters.com/Car-park-design-must-evolve-for-fire-safety> [Accessed 5th February 2024]. (In Russ.).
12. Sheridan L., Visscher H., Meijer F. Buildings regulation on fire safety in Europe. In: Proceedings of The CIB-CTBUH International Conference on Tall Buildings. 08–10 May 2003, Malaysia. Malaysia; 2003. 14 p.
13. Sprei F., Hult C., Hult Å., Roth A. Review of the Effects of Developments with Low Parking Requirements. *Sustainability*. 2020;12;5:13. <https://doi.org/10.3390/su12051744>.
14. Novikova A.V., Gracheva A.N., Grigorieva E.M., Panfilova E.V., Kuzmina V.A. Development of Sets of Rules in The Field of Fire Safety. In: *Aktual'nie problemy požarnoi bezopasnosti = Current Problems of Fire Safety: Materials of XXXI International Scientific and Technical Conference*. 05–07 June 2019, Moscow. Moscow; 2019, p. 415-418. (In Russ.). EDN: UUZMCM.
15. Mironchev A.V., Tursenev S.A. Methods of technical regulation of fire safety of capital construction projects. In: *Pozharnaya bezopasnost' obshchestvennykh i zhilykh zdaniy. Normativi, proektirovanie, ustroystvo i ekspluatatsiya = Fire Safety of Public and Residential Buildings. Standards, design, arrangement and operation: Scientific and Technical Conference*. 22th November 2018, Saint Petersburg. Saint Petersburg; 2018, p. 3-5. (In Russ.). EDN: CJWEUG.
16. Beznogikh M.V. Comparison of foreign and Russian standards for fire automatic systems. *Training center "TAKIR"*. Available from: <https://takir.ru/vse-publikacii/sravnenie-zarubezhnyh-i-rossijskih-norm-dlja-sistem-pozharnej-avtomatiki-na-primere-nfpa-72-i-sp-484-1311500-chast-1-obshhie-principy-i-podhody/?ysclid=ls45pfix88970821011> [Accessed 5th February 2024]. (In Russ.).

17. Popov V.I., Capasso L., Klepikov O.V., Appolloni L., D'Alessandro D. Hygienic Requirements of Urban Living Environment in the Russian Federation and in Italy: a comparison. *Annali di Igiene: Medicina Preventiva e di Comunità*. 2018;30;5: 421-430. <http://dx.doi.org/10.7416/ai.2018.2242>.

18. Kunkel S., Kontonasiou E., Arcipowska A., Mariottini F., Atanasiu B. Indoor air quality, thermal comfort and daylight. *Indoor Air Quality, Thermal Comfort and Daylight. Analysis of Residential Building Regulations in Eight EU Member States*. Brussels: Buildings Performance Institute Europe;2015. p.14-43.

Информация об авторе

Хадеев Михаил Борисович,
доцент,
доцент кафедры архитектурного проектирования,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
✉e-mail: m-1@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0001-6377-4623>
Author ID: 1207233

Information about the author

Mikhail B. Khadeev,
Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Architectural Design,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
✉e-mail: m-1@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0001-6377-4623>
Author ID: 1207233

Вклад автора

Автор провел исследование, подготовил рукопись
к печати и несет ответственность за плагиат.

Contribution of the author

The author contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта
интересов.

Conflict of interests

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

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант
рукописи.

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

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 05.02.2024.
Одобрена после рецензирования 15.02.2024.
Принята к публикации 16.02.2024.

Information about the article

The article was submitted 05.02.2024.
Approved after reviewing 15.02.2024.
Accepted for publication 16.02.2024.

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

Мы приглашаем Вас к участию в нашем журнале в качестве авторов, рекламодателей, читателей и сообщаем требования к статьям, принимаемым к публикации.

Журнал «Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость» публикует научные статьи и обзоры российских и зарубежных ученых, в том числе докторантов и аспирантов, содержащие новые результаты научных исследований.

Тематический охват соответствует утвержденной номенклатуре научных специальностей:

- 2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки);
- 2.1.2. Основания и фундаменты, подземные сооружения (технические науки);
- 2.1.3. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение (технические науки);
- 2.1.4. Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов (технические науки);
- 2.1.5. Строительные материалы и изделия (технические науки);
- 2.1.6. Гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология (технические науки);
- 2.1.7. Технология и организация строительства (технические науки);
- 2.1.8. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей (технические науки);
- 2.1.9. Строительная механика (технические науки);
- 2.1.10. Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства (технические науки);
- 2.1.11. Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия (архитектура);
- 2.1.12. Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности (архитектура);
- 2.1.13. Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов (архитектура)
- 2.1.14. Управление жизненным циклом объектов строительства (технические науки)
- 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика (экономические науки)
- 5.2.6. Менеджмент (экономические науки)

Представляемая в журнал работа должна быть законченным научным исследованием и содержать новые научные результаты, нигде ранее не публиковавшиеся и не представленные к публикации в других изданиях.

Статьи должны быть выполнены на высоком научном уровне и содержать результаты исследований по соответствующей проблематике. Рукопись, присылаемая в редакцию, должна соответствовать тематике журнала и требованиям редакции к оформлению рукописей.

1. Материалы, представляемые авторами в редакцию:

- Статья в печатном виде и идентичном варианте в электронной форме (с расширением *.docx и *.pdf);
- Иллюстрации к статье (рисунки, графики и т.д.) в электронном виде (в формате jpg);
- Авторское заявление;
- Сопроводительное письмо;
- Договор;
- Экспертное заключение.

2. Рукопись должна быть построена следующим образом:

- **Шифр УДК;**
- **Название статьи;**
- **Информация об авторах:** фамилия, имя, отчество; название учреждения;
- **Реферат (аннотация)** – количество слов – 190;
- **Ключевые слова** – (4–6);
- **Библиографические ссылки** должны быть оформлены в соответствии с ГОСТ Р 7.05 2008.
- **Критерии авторства, конфликт интересов;**
- **Сведения об авторах:** фамилия, имя, отчество (полностью); ученая степень, звание и должность; название учреждения, его адрес с индексом; e-mail; ORCID, ID.
- **Название рубрики**, в которой должна быть размещена статья.

3. Рекомендации по набору и оформлению текста

Параметры страницы и абзаца: отступы сверху и снизу – 2 см; слева и справа – 2 см; табуляция – 0,6 см; ориентация – книжная;

Шрифт – *Arial*, размер – 10,5, межстрочный интервал – одинарный, перенос слов – автоматический.

При вставке формул использовать *Microsoft Equation 3* при установках: элементы формулы выполняются – курсивом; для греческих букв и символов назначать шрифт *Symbol*, для остальных элементов – *Arial*.

Размер символов: обычный – 12 пт, крупный индекс – 7 пт, мелкий индекс – 5 пт, крупный символ – 18 пт, мелкий символ – 12 пт. Все экспликации элементов формул необходимо также выполнять в виде формул.

Рисунки, вставленные в текст, должны быть выполнены с разрешением 300 dpi, *B&W* – для черно-белых иллюстраций, *Grayscale* – для полутонов, максимальный размер рисунка с надписью: ширина 170 мм, высота 245 мм. Рисунки должны быть представлены в виде файла с расширением *.BMP, *.TIFF, *.JPG, должны допускать перемещение в тексте и возможность изменения размеров. Схемы, графики выполняются во встроенной программе *MS Word* или в *MS Excel*, с приложением файлов.

Для построения графиков и диаграмм следует использовать программу *Microsoft Office Excel*. Каждый рисунок вставляется в текст как объект *Microsoft Office Excel*.

Внимание! Публикация статьи является бесплатной.

Для авторов / For authors

Статьи направляются в редакцию журнала по электронной почте izv_isn@istu.edu.

Рукописи статей и оригиналы всех необходимых документов предоставляются по адресу: 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, редакционный отдел, ауд. Д-215, О.В. Никишиной

Телефон: (3952) 40-56-11, с.т.: 8 964 656 46 70 – Никишина Ольга Валерьевна, ответственный за выпуск,

(3952) 40-52-74 – Маркина Ирина Павловна, редактор.

**ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ
ИНВЕСТИЦИИ. СТРОИТЕЛЬСТВО. НЕДВИЖИМОСТЬ**

Научный журнал

12+

Том 14 № 1 (48)

Главный редактор В.В. Пешков
Ответственный за выпуск О.В. Никишина
Дизайн и макет издания Е.В. Хохрина
Перевод Томаса Бивитта, Н.Г. Поповой, О.В. Никишиной
Верстка О.В. Никишиной
Редактор И.Н. Акулова, Редактор И.П. Маркина

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

Выход в свет 27.03.2024. Формат 60 x 90 / 8 (А4).
Бумага офсетная. Печать цифровая. Усл. печ. л. 29,30.
Тираж 500 экз. Зак. 6. Поз. плана 6н.

Издание распространяется бесплатно

ФГБОУ ВО "Иркутский национальный исследовательский технический университет"
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

Отпечатано в типографии Издательства
ФГБОУ ВО "Иркутский национальный исследовательский технический университет"
Адрес типографии: 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83А



ВЫСШАЯ
АТТЕСТАЦИОННАЯ КОМИССИЯ (ВАК)
Министерства образования и науки Российской Федерации



РОССИЙСКИЙ ИНДЕКС
НАУЧНОГО ЦИТИРОВАНИЯ
Science Index



CYBERLENINKA

OPEN  ACCESS



INDEX  COPERNICUS
INTERNATIONAL

Google Scholar



АНРИ

Ассоциация научных
редакторов и издателей

