

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

12+



IZVESTIYA VUZOV
Investitsii
Stroitelstvo
Nedvizhimost

ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ
ИНВЕСТИЦИИ
СТРОИТЕЛЬСТВО
НЕДВИЖИМОСТЬ

Том 11 № 3
2021

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 11 № 3
Vol.**



**ИЗДАТЕЛЬСТВО
Иркутского национального исследовательского
технического университета**

**PUBLISHERS
of Irkutsk National Research Technical University
2021**



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

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

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

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

Журнал включен в следующие базы данных: EBSCO Publishing Databases, 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 каталоге Агентства ЗАО ИД «Экономическая газета»
«Объединенный каталог. Пресса России. Газеты и журналы» - 41511 (ОК + ЭК)
Адрес Агентства ЗАО ИД «Экономическая газета»: (499) 152-09-89; izdatcat@ideg.ru

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Founder, publisher: FSBEIHE Irkutsk National Research Technical University

Subscription index in the catalog of JSC "Economic Newspaper"
Publishing House "The united catalog. Russian press.
Newspapers and journals"- 41511 (OK + EC) Address of JSC «Economic Newspaper»
Publishing House: (499) 152-09-89; izdatcat@ideg.ru

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

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

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

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

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

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

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

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

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

Воропай Н. И., доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, научный руководитель Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН (г. Иркутск, Российская Федерация)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

EDITORIAL BOARD

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

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

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

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

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

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

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

Voropai N. I., Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Scientific Advisor of Melentiev Energy Systems Institute SB RAS (Irkutsk, Russian Federation)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

Известия вузов
Инвестиции. Строительство. Недвижимость

Том 11 № 3 2021

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. СТРОИТЕЛЬСТВО

Безруких О. А., Матвеева М. В. Управление процессами организации строительства при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, вызванных наводнениями	422
Винокурова О. В., Баранова А. А. О целесообразности использования пластификаторов в производстве теплоизоляционного пенобетона	432
Магомедов М. А. Эффективные конструкции поверхностных фундаментов для линий электропередач	440
Пешков В. В., Бобер В. А., Шлепнев О. К. Учет неопределенности водопотребления при оптимизации перспективных схем развития систем водоснабжения и водоотведения	446
Плотникова Г. П. Композиционный строительный материал с использованием отходов лесохимии в составе	452
Продоус О. А., Шлычков Д. И. Сравнительный анализ расчетных зависимостей для гидравлического расчета самотечных сетей водоотведения	462
Черных Д. С., Строев Д. А., Чернильник А. А., Ельшаева Д. М., Жеребцов Ю. В., Доценко Н. А. Зависимость коэффициентов прочностной и деформативной вариатропной эффективности центрифугированного бетона от зернового состава крупного заполнителя	470
Чичерин С. В., Глухов С. В., Глухова М. В., Ильичева А. К., Жуйков А. В. Методика оценки последствий перехода на закрытую схему горячего водоснабжения в системах централизованного теплоснабжения	480
Шелехов И. Ю., Кузнецов К. Л., Рощупкина Л. В., Чусикова К. Э. Оценка безопасности эксплуатации систем «теплый пол»	492

АРХИТЕКТУРА. ДИЗАЙН

Бергман А. В. Этапы формирования комплексной аналитической модели исследования типологического состава прибрежной территории реки Дон в границах Ростовской области на примере станицы Старочеркасской	500
Дашиев Т. А. Разработка эффективного планировочного решения офисного пространства путем прогнозируемой организации социального пространства	510
Золотарева М. В., Пономарев А. В. К творческой биографии Льва Петровича Шишко (инженера, архитектора, ученого, педагога)	520
Пуляевский П. Е., Захарчук М. Г. Регенерация исторической деревянной городской среды: практика реставрации и перемещения объекта культурного наследия	532
Саландаева О. И. Архитектура жилых зданий из крупных панелей – тенденции формирования	544
Шабиев С. Г., Квач В. А., Кобылова Я. М. Архитектура храма на озере Сугомак в городе Кыштыме Челябинской области	562

CONTENTS

Proceedings of Universities Investment. Construction. Real estate

Том 11 № 3 2021

CONTENTS

TECHNICAL SCIENCES. CONSTRUCTION

Bezrukikh O. A., Matveeva M. V. Managing construction processes in emergency response to floods	422
Vinokurova O. V., Baranova A. A. Feasibility of using plasticisers for producing heat insulation foam concrete	432
Magomedov M. A. Efficient surface foundations for power lines	440
Peshkov V. V., Bober V. A., Shlepnev O. K. Addressing uncertainty in water consumption when optimising promising water supply and disposal schemes	446
Plotnikova G. P. Composite building material containing wood chemistry waste	452
Prodous O. A., Shlychkov D. I. Comparative analysis of empirical dependencies for hydraulic calculation of wastewater gravity flow network	462
Chernykh D. S., Stroev D. A., Chernil'nik A. A., El'shaeva D. M., Zherebtsov Yu. V., Dotsenko N. D. Dependence of structural and stress-strain variatropic efficiency coefficients of spun concrete on grain size composition of coarse aggregate	470
Chicherin S. V., Glukhov S. V., Glukhova M. V., Ilicheva A. K., Zhuykov A. V. Methodology for assessing the consequences of switching to a closed-circuit hot-water supply in district heating systems	480
Shelekhov I. Yu., Kuznetsov K. L., Roshchupkina L. V., Chusikova K. E. Assessing safety of "underfloor heating" systems	492

ARCHITECTURE. DESIGN

Bergman A. V. Milestones in developing an integrated analytical model to assess the typological structure of the Don River coastal area within Rostov region on the example of stanitsa Starocherkasskaya	500
Dashiev T. A. Development of an efficient planning concept for office space by projected organisation of social space	510
Zolotareva M. V., Ponomarev A. V. To the creative biography of Lev Petrovich Shishko (engineer, architect, scientist, teacher).	520
Pulyaevsky P. E., Zakharchuk M. G. Regeneration of historic wooden urban realm: restoration and relocation of a cultural heritage object	532
Salandaeva O. I. Architecture of prefabricated large-panel housing - tendencies in development	544
Shabiev S. G., Kvach V. A., Kobylova Ya. M. The architecture of a church on Lake Sugomak in Kyshtym, Chelyabinsk region	562



Управление процессами организации строительства при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, вызванных наводнениями

© О. А. Безруких, М. В. Матвеева

Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Резюме: Одной из важнейших мировых проблем является глобальная перемена климата, которая привела к смещению баланса природных систем, вызвав температурные аномалии, изменение режима выпадения осадков, увеличение количества ураганов и землетрясений, случаев засухи и наводнений, что в целом способствует возрастанию количества чрезвычайных ситуаций природного характера. Наводнения являются одним из распространенных природных явлений, которые могут представлять огромную опасность для людей и объектов строительства и являются причиной значительных убытков по всей стране. Цель исследования – разработка концепции управления процессами организации строительства при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, вызванных наводнениями, для минимизации ущерба и обеспечения наиболее быстрого и качественного проведения восстановительных работ. Был осуществлен анализ ресурсной и процессной составляющих при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, а также уровня ущерба и последствий после наводнений. Данные исследования позволили разработать концепцию управления процессами организации строительства на основе принципов целевой фокусировки. В соответствии с данной концепцией установлено, что технология крупнопанельного домостроения отвечает основным требованиям к строительным конструкциям и материалам, которые должны использоваться при строительстве на территориях, подверженных чрезвычайным ситуациям природного характера, вызванным наводнениями.

Ключевые слова: организация строительства, наводнение, живучесть зданий, чрезвычайные ситуации, целевая фокусировка

Для цитирования: Безруких О. А., Матвеева М. В. Управление процессами организации строительства при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, вызванных наводнениями // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2021. Т. 11. № 3. С. 422–431. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-422-431>.

Managing construction processes in emergency response to floods

Olga A. Bezrukikh, Maria V. Matveeva

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract: As an important global concern, climate change shifted the balance of natural systems, causing temperature anomalies, change in precipitation, increase in the number of hurricanes and earthquakes, drought and floods, overall contributing to an increase in the number of natural disasters. Floods are one of the most common natural phenomena that endanger people and construction sites and cause significant losses across the country. This paper presents a concept for managing the construction processes in emergency response to the consequences caused by floods in order to minimise damage and ensure the fastest and highest quality restoration work. The resource and process constituents in emergency response were analysed, as well as the level of damage and consequences of floods. This research allowed a concept for managing the construction processes to be developed based on the principles of target focusing. According to this concept, a technology of prefabricated large-panel housing meets the basic requirements for building structures and materials for the construction in areas prone to natural disasters caused by floods.

Keywords: organization of construction, flooding, survivability of buildings, emergencies, target focus

For citation: Bezrukikh O. A., Matveeva M. V. Managing construction processes in emergency response to floods. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2021;11(3):422–431. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-422-431>.

Введение

Чрезвычайные ситуации, вызванные наводнениями, составляют около 45% от всего количества стихийных бедствий, возникающих в мире. На их часть приходится до 35% материальных потерь. Изменение климата увеличивает частоту и интенсивность наводнений во всем мире, которые почти удвоились в 2000–2009 годах по сравнению с предыдущим десятилетием. Неблагоприятное сочетание демографических, климатических факторов и факторов развития ставит под сомнение устойчивость общества к катастрофическим наводнениям. Согласно данным, опубликованным *World Resource Institute* в апреле 2020 года, число людей, пострадавших от наводнений, к 2030 году увеличится вдвое [1]. Ситуация с наводнениями может ухудшиться из-за изменения климата, проседания земель, урбанизации и роста населения, что поставит жизнь населения под угрозу и приведет к потере их материальных ценностей. С практической точки зрения вероятность затопления исключить невозможно. Однако последствия наводнения можно смягчить соответствующим поведением и действиями. Высокий уровень ущерба от наводнений и частота их появления требует наличия эффективной системы принятия решений по управлению наводнениями и обеспечению доступности материальных, технических и производственных ресурсов. В этом аспекте именно эффективное позиционирование строительной отрасли имеет определяющее значение для решения задач по обеспечению населения жильем при возникновении и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, вызванных наводнениями. Опыт ликвидации последствий наводнений в г. Комсомольск-на-Амуре в 2013 г., в Иркутской области в 2019 г. и других регионах страны показал, что процессы организации строительства в целом требуют корректировки систем управления. Регистрируемые чрезвычайные ситуации, вызванные наводнениями, указывают на необходимость оптимизации процессов организации строительства в соответствии со своевременным и адекватным реагированием привлекаемых ресурсов для предотвращения последствий

чрезвычайных ситуаций, с учетом пространственных и временных характеристик.

Методы

Важный научный вклад в исследование данного направления внесли отечественные и зарубежные ученые – А.Е. Родин, В.О. Чулков, Б.Н. Порфирьев, В.В. Смирнов, А. Azmeri, S.N. Jonkman, Т. Pagano и др. Однако, не смотря на значительный интерес, который привлекают к себе теоретические аспекты управления чрезвычайными ситуациями, многие вопросы относительно организации строительного производства к настоящему времени не решены, что делает данное исследование особенно актуальным, определяя его цели и задачи. Целью статьи является разработка концепции управления процессами организации строительства при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, вызванных наводнениями¹.

С проблемой возникновения чрезвычайных ситуаций сталкивается практически каждый регион Российской Федерации – Приморский край, Краснодарский край, Дальний Восток и др. По данным Росгидромета, стихийным бедствиям подвержены около 500 тыс. кв. км, наводнениям с катастрофическими последствиями – 150 тыс. кв. км, на площади которых расположены порядка 300 городов, десятки тысяч населенных пунктов, большое количество хозяйственных объектов, более 7 млн га сельхозугодий [2]. Анализируя причины и характер возникновения чрезвычайных ситуаций за многолетний период, нетрудно заметить, что любая чрезвычайная ситуация, возникнув единожды, имеет циклический характер повторения. В связи с этим актуальность повышения эффективности управления строительными процессами возрастает. При возникновении чрезвычайных ситуаций деятельность строительных процессов должна быть сфокусирована на решении жилищной проблемы для населения, пострадавшего при возникновении ЧС. Более того, важно не только обеспечить фокусировку строительных процессов на создании новых объектов, но также направить ресурсы на разработку рекомендаций по обеспечению без-

¹Ликвидация последствий наводнений [Электронный ресурс] // Fireman.club. URL: <https://fireman.club/inseklodepia/likvidaciya-posledstvij-navodnenij/> (02.02.2021).

опасности проживания в жилых домах, оказавшихся в зоне чрезвычайных ситуаций и подвергшихся подтоплению паводковыми водами. Важным является вопрос разработки рекомендаций компенсирующего характера с целью обеспечения работоспособности жилых домов на последующий период эксплуатации, с учетом природно-климатических условий и последствий паводка. В связи с этим, для минимизации ущерба и обеспечения наиболее быстрого и качественного проведения восстановительных работ, необходимо выдвинуть на первый план решение проблемы усовершенствования систем управления строительными процессами при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

Результаты и их обсуждение

Осуществление строительных процессов, в том числе при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, возможно при условии опережающего роста потенциала экономической эффективности, в ином случае результат строительных процессов будет терять экономический, технический, экологический и

иные функциональные смыслы. На основании этого, процессы организации строительства априори должны обладать определенными свойствами, предопределяющими их эффективность, как по видам строительства, этапам проектного цикла, формам воспроизводства, так и территориальной принадлежности [3]. Процессы организации строительства должны протекать не только с фокусировкой на создании строительной продукции, которая, совершенно очевидно, должна соответствовать стратегическим целям развития страны и ее регионов, но и с учетом последствий возникающих чрезвычайных ситуаций.

Необходимо отметить, что ресурсы строительной компании, в том числе при организации процессов строительства, являются критически важными при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, так как задействованы практически во всех составляющих целостной системы процесса управления ликвидацией последствий чрезвычайных ситуаций, спроектированной на основе принципов целевой фокусировки (рис. 1).



Рис. 1. Целостная система процесса управления ликвидацией последствий чрезвычайных ситуаций
Fig. 1. A holistic system of the emergency management process

Согласно системе, представленной на схеме, процессы организации строительства при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций могут быть задействованы при управлении прибрежной зоной, территориями и жилыми объектами. Согласно этому, современная и адаптивная система управления ликвидацией последствий наводнений ориентирована не только на уменьшение масштабов последствий наводнений и вызванного ими ущерба, но и представляет собой комбинацию всех действий, направленных на улуч-

шение общей деятельности в пойме. Многоаспектность деятельности управления предопределяет наличие различных стратегий:

1. Борьба с наводнениями или смягчение последствий наводнений; как правило, ограничивают распространение наводнений с помощью структурных мер.
2. Корректировка или модификация деятельности человека для минимизации потерь от наводнений, что достигается путем адаптации населения к наводнениям.

3. Управление наводнениями, основанное на устойчивости, при котором акцент делается на проведении структурных операций в пойме. Стратегия гарантирует, что будут выбраны меры, которые не вызовут серьезных осложнений в будущем. Для этого подхода требуется справедливая оценка социальных, экономических и экологических активов.

При оценке выявленных составляющих различных стратегий управления ликвидацией последствий чрезвычайных ситуаций, вызванных наводнениями, становится очевидно, что в основе модификации процессов организации строительства лежит целевая устремленность ресурсов субъекта управления, состав и структура которых определяется способами производства. Именно способы производства позволяют изучить функционирование процессов производственного цикла, ориентированных на достижение поставленных целей, при заданных параметрах ресурсопотребления [4]. Эффективность способов производства характеризует степень готовности процессов строительства к принятию вызовов внешней среды, таких как чрезвычайные ситуации. На основании этого присущие строительству свойства адаптивности, фронтальности, мультипликации целесообразно соотносить со свойствами эквивалентной эффективности инвестиционно-строительных процессов, которые являются основой целевой фокусировки строительных процессов и позволяют реагировать на тенденции изменения внешней среды, к которым относятся чрезвычайные ситуации различного характера.

Таким образом, первая базовая характеристика современной модели управления процессами строительства заключается во фронтально-форсажном характере целей развития. Фронтальность заключается в выстраивании процессов строительства согласно актуальности отраслевого, территориального характеров. При этом существенное отставание инновационных и технологических процессов развития предопределяет необходимость использования принципов форсажного развития. Они предполагают мобилизацию всех видов ресурсов на основе синхронизации и согласования процессов строительства. Результат синхронизации выражается в получении синергетического эффекта взаимодействия, приводя к балансу ресурсов, что позволяет повысить эффективность использования капитала.

В качестве второй базовой характеристики выделяется целевая фокусировка процессов строительства, которая обеспечивает синхро-

низацию различных видов ресурсов с учетом их методологического характера. Неэффективное использование ресурсов развития не оставит шанса реализовать форсажно-фронтальную модель управления процессами строительства. Все это предопределяет необходимость использования целевой фокусировки управления и реструктуризации управления строительными процессами по направлениям, указанным в схеме.

Процесс ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций основан на использовании ограниченных временных, социальных, материальных, производственных и иных ресурсов. Ликвидация последствий чрезвычайных ситуаций является стохастическим процессом, в связи с этим в совокупности с целевой фокусировкой необходимо использовать теорию надежности ресурсов. С точки зрения данной теории движение потока ресурсов осуществляется от момента закладки их в резерв, выполнения операций, связанных с их хранением, обслуживанием и до их использования при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

В этой связи обращение к проблематике методологической разработки и реализации новой модели управления процессами с позиций их целевой фокусировки востребовано временем и вполне оправдано в связи с возрастанием количества чрезвычайных ситуаций, которые требуют внедрения мер по ликвидации их последствий. Проведенный анализ ресурсной и процессной составляющих при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, вызванных наводнениями летом 2019 года на территории Иркутской области, а также уровня ущерба и последствий после наступления наводнений позволил разработать концепцию управления процессами организации строительства на основе принципов целевой фокусировки. Поскольку отличительной чертой наводнений является наносимый ущерб по отношению к населению, материальным ценностям и т.д., первоначально необходимо определить стратегическую цель осуществления мероприятий по минимизации последствий наводнений и регулирования уровня наносимого ущерба [5]. Было определено, что целью является обеспечение безопасного для жизни и окружающей среды использования паводкоопасных территорий. Реализация цели может быть достигнута за счет применения следующих принципов:

– территории, подверженные угрозе наводнений, следует рассматривать как эколого-экономические системы, высокий при-

родно-ресурсный потенциал которых сформировался в результате их периодического затопления;

– осуществление мер по защите от наводнений должно основываться на оценке «выгоды-ущерба», в том числе в результате воздействия планируемых мероприятий на природные ресурсы и функции пойм.

На основании сформулированных цели и принципов для обеспечения баланса экономических, социальных и природных систем была разработана концепция целевой фокусировки процесса организации строительства при ликвидации последствий наводнений (рис. 2).

Цели реализации стратегии защиты от наводнений		
Стратегическая цель	Экономически оптимальное, безопасное для жизни и окружающей среды использование паводкоопасных территорий	
Цели второго уровня	Уменьшение ущерба зданиям от паводков и других опасных гидрологических явлений частой повторяемости	Смягчение и (или) предотвращение возможных последствий наводнений
<i>Основные направления реализации целей</i>		
Общие (обобщенные)	Организация и проведение ремонтно-восстановительных работ. Организация работ по берегоукреплению. Обеспечение благоприятных условий для инвестирования противопаводковых мероприятий	
Первоочередные мероприятия при возникновении ЧС	Обеспечение первоочередной экономической и технически эффективной инженерной защиты жилых зданий, ценных и социально значимых объектов [6]	1. Осуществление экстренных инженерно-технических мероприятий в период ЧС [7]. 2. Обеспечение эксплуатации сооружений противопаводковой защиты
Среднесрочные мероприятия	1. Проведение экстренных инженерно-технических экспертиз в период ЧС. 2. Обеспечение нормативной инженерной и конструктивной защиты зданий в соответствии с грунтовыми условиями. 3. Унификация условий предоставления государственной помощи	1. Инженерная защита русла рек. 2. Строительство защитных сооружений с максимальным сохранением природных ресурсов и функций пойм. 3. Регулирование использования паводкоопасных территорий
Долгосрочные мероприятия	1. Обязательный учет риска аварий защитных сооружений при строительстве и реконструкции зданий и сооружений [8]. 2. Широкое распространение страхования. 3. Превентивный характер страховых тарифов	1. Зонирование территорий, подверженных угрозе наводнений. 2. Охрана водосборов. 3. Расчистка речных русел. 4. Устранение искусственных подпоров

Рис. 2. Концепция целевой фокусировки процесса организации строительства при ликвидации последствий наводнений
Fig. 2. The concept of target focusing of the process of organizing construction in the elimination of the consequences of floods

Основу концепции целевой фокусировки процесса организации строительства при ликвидации последствий наводнений составляет применение различных методов и средств, являющихся частью процессов строительства, направленных на минимизацию негативных последствий, наносимых наводнениями. Все превентивные мероприятия в концепции разделены в соответствии с временными харак-

теристиками на первоочередные, среднесрочные и долгосрочные. Как указано в концепции, большое значение при осуществлении мероприятий по защите территории от возникновения чрезвычайной ситуации, вызванной наводнением, отводится эффективному использованию земель, выделенных под строительство защитных сооружений. Процесс организации строительства таких объектов дол-

жен осуществляться с учетом современных технологий, учитывающих типологию территорий, состав грунтов и время прохождения паводковых вод [9, 10]. Высокий уровень и скорость воды могут создавать значительные гидростатические и гидродинамические силы, которые необходимо учитывать при проектировании защитных объектов. Проект любого типа защитного сооружения должен обладать следующими характеристиками:

- способность защиты противостоять внешним нагрузкам и сдерживать паводковые воды;
- достаточность прочности и жесткости затвора для выдерживания расчетных напряжений;
- способность окружающих почв противостоять размыванию и эрозии.

При осуществлении процессов проектирования объектов защиты необходимо обеспечить их организацию с учетом целевой фокусировки по следующим направлениям:

- определять глубину и скорость прошедших наводнений с целью подтверждения того, что защитное сооружение не увеличит опасность наводнений;
- определять доступность почвы относительно ее непроницаемости;
- определять топографию местности;
- осуществлять определение высоты сооружения защиты и глубины основания в зависимости от площадки и расчетных условий затопления;
- использовать комбинации нагрузок, указанных в СНИП, для расчета поперечных и вертикальных сил, действующих на сооружение защиты [11].

Реализация охарактеризованных направлений является критически важной, однако не реализуется на практике. На сегодняшний день в большинстве районов России создаются дамбы для защиты от случайного паводка, что не позволяет обезопасить районы со значительным, но не поддающимся количественному определению риском катастрофического наводнения. Таким образом, защита от случайного паводка является стандартом де-факто для большинства дамб в России. Кроме того, системы дамбы, которые лишь в незначительной степени соответствуют стандартам сертификации, уязвимы для опустынивания. Если не поддерживать должным образом производительность систем дамбы, со временем она ухудшается из-за эрозии, повреждения грызунами и оседания [12]. Кроме того, частота и масштабы опасности наводнений могут увеличиваться со временем из-за естествен-

ных и антропогенных причин. В соответствии с этим приведенная в работе концепция является актуальной, так как учитывает недоработки, существующие в настоящее время. На основании предложенной концепции управления организаций процессов строительства при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций на паводкоопасных территориях должна проводиться процедура зонирования и вводиться особые нормы и правила при проектировании и строительстве объектов недвижимости [13]. Необходимо отметить, что часть норм и правил, касающихся обеспечения живучести домов, следует применять в обязательном порядке, так, как и к строительству новых зданий, учитывая зонирование территорий и технологии строительства.

Основываясь на разработанной концепции целевой фокусировки процессов организации строительства, риск затопления территорий невозможно исключить полностью, но на него можно воздействовать предупредительными и разделительными методами. Теоретически исключить риск затопления возможно, введя полный запрет на строительство на территориях, подверженных затоплению, однако это противоречит устойчивому развитию земель и экономики. На основании этого критически важным является совершенствование способов организации жилых домов на затопляемых территориях. К традиционным способам, на примере малоэтажного строительства, относят способ размещения дома на остовах судна-корабля, понтонный способ и способ устройства объектов на сваях и пилонах [14, 15]. В основном, все способы организации жилых домов на затопляемых территориях направлены на организацию строительства жилого дома на воде с использованием понтонного основания на суше, понтонного герметичного дома на воде и применение понтонных стен. Однако необходимо отметить, что данные способы на сегодняшний день не применимы на территории Российской Федерации по причине отсутствия опыта и знания технологий.

Методологический анализ практики строительства на территории России позволил определить основные требования к строительным конструкциям и материалам, которые должны использоваться при строительстве на территориях, подверженных чрезвычайным ситуациям природного характера, вызванным наводнениями. Характеристикам, определенным на рис. 3, соответствуют быстровозводимые дома из некапитальных конструкций и дома, выполненные по технологии крупнопанельного домостроения.

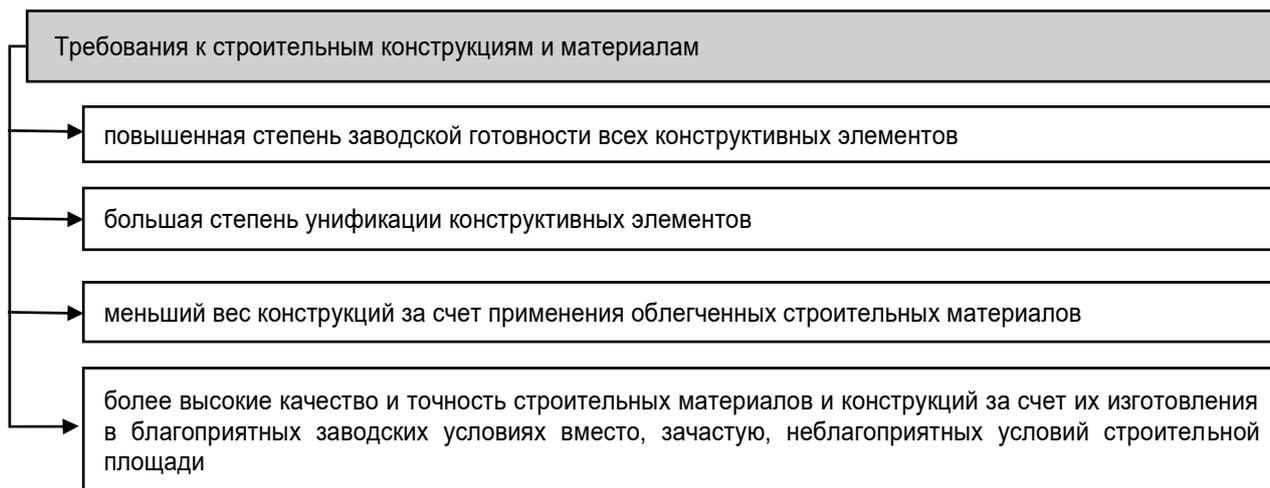


Рис. 3. Требования к строительным конструкциям и материалам при строительстве объектов на территориях, подверженных затоплению паводковыми водами
Fig. 3. Requirements for building structures and materials during the construction of facilities in areas subject to flooding by flood waters

Технология быстровозводимых зданий позволяет осуществлять строительство исключительно малоэтажных зданий, которые по сроку службы и потребительским качествам значительно уступают домам, выполненным по технологии крупнопанельного домостроения [16].

На сегодняшний день технология крупнопанельного домостроения открыла совершенно новые перспективы для строительной сферы путем объединения в себе всех преимуществ индустриальной массовой технологии, обеспечивая оригинальность и индивидуальность архитектурного решения. Максимально возможная унификация всех элементов здания привела к радикальному снижению стоимости и сроков строительства любых объектов, не ограничивая при этом применение разнообразных элементов архитектурной выразительности в различных климатических условиях [17].

Стремительное развитие панельного строительства обусловлено рядом положительных характеристик, к которым можно отнести:

- высокую скорость строительства по сравнению с возведением зданий по другим технологиям;
- отсутствие влияния сезонности при строительстве;
- экономичность производства за счет массового производства панелей²;
- высокое качество готовой продукции (сооружений);

– возможность обеспечить гибкость в производстве [18].

В крупнопанельном домостроении накоплен большой опыт и предполагаются колоссальные перспективы развития в будущем за счет проведения глубокой модернизации производства. Именно новые проекты крупнопанельного домостроения позволяют использовать данную технологию при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

Заключение

Реализация изложенного теоретического подхода и предложенная концепция требуют создания соответствующего нормативно-правового и методического обеспечения, основным из которых должен быть специальный технический регламент организации процесса строительства при ликвидации процессов чрезвычайных ситуаций природного характера.

Создание регламента позволит обобщить предложенные в работе рекомендации и повысит эффективность управления строительными процессами и в целом мероприятий по ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций в соответствии с принципами целевой фокусировки при форсажно-фронтальном, сбалансированном в пространственно-временном разрезе использовании ресурсов, обеспечивающих достижение эквивалентной эффективности процессов организации строительства с использованием технологии крупнопанельного домостроения.

²Formulating a basin flood management plan [Электронный ресурс]. URL: https://www.preventionweb.net/files/2626_ToolsBasinFloodManagementPlan.pdf (26.01.2021).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hoes O., Schuurmans W. Flood standards or risk analyses for polder management in the Netherlands // *Irrig. Drain.* 2006. Vol. 55. p. 113–119. <https://doi.org/10.1002/ird.249>.
2. Авакян А.Б., Истомина М.Н. Природные и антропогенные причины наводнений // *Основы безопасности жизнедеятельности.* 2001. № 9. С. 22–27.
3. Rusman B., Istijono B., Ophyandri T., Junaidi A. Social, Economic and Environmental Perspectives of Flood Assessment on Delta Lowland // *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET).* 2017. Vol. 8. p. 966–978.
4. Хамутова М.В., Кушников В.А. Минимизация последствий наводнений на основе модели системной динамики // *Математические методы в технике и технологиях.* 2017. Т. 9. С. 14–17.
5. Costabile P., Costanzo C., De Lorenzo G., Macchione F. Is local flood hazard assessment in urban areas significantly influenced by the physical complexity of the hydrodynamic inundation model? // *Journal of Hydrology.* 2020. Vol. 580. p. 124231. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124231>.
6. Rosenzweig B.R., McPhillips L., Chang H., Cheng C., Welty C., Matsler M., et al. Pluvial flood risk and opportunities for resilience // *WIREs Water.* 2018. Vol. 5. p. 1–18. <https://doi.org/10.1002/wat2.1302>.
7. Соколов А.В., Шацких О.В. Анализ опыта строительства береговых укреплений на территории Читинской и Амурской областей // *Водные ресурсы и водопользование.* 2007. № 3. С. 77–80.
8. Экономов И.С. Современные способы строительства архитектурных объектов на воде // *Труды МАРХИ: материалы научно-практической конференции (5–10 апреля 2010 г).* М.: МАРХИ, 2010. С. 238–244.
9. Понявина Н.А. Добросоцких М.Г., Золотухин С.Н., Потехин И.А. Потенциал сокращения негативного влияния строительной отрасли на окружающую среду за счет повторного использования строительных материалов // *Строительство и недвижимость.* 2019. № 1 (4). С. 19–25.
10. Дмитренко Е.А., Гранина Т.О. Инновационные конструктивные решения быстровозводимых зданий из сборного железобетона // *Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры.* 2017. № 4. С. 108–115.
11. Гребнев Я.В., Яровой А.В. Мониторинг и прогнозирование паводков на территории Красноярского края использованием нейросетевых алгоритмов // *Сибирский пожарно-спасательный вестник.* 2018. № 3 (10). С. 13–16.
12. Morrison A., Westbrook C.J., Noble B.F. A review of the flood risk management governance and resilience literature // *J. Flood Risk Management.* 2018. Vol. 11. p. 291–304. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12315>.
13. Басов А.В. Техническое регулирование и стандартизация в строительстве // *Жилищное строительство.* 2019. № 1–2. С. 3–7. <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-1-2-3-7>.
14. Коваленко Л.С., Шаликовский А.В., Шахов И.С. Концепция решения проблемы наводнений // *Вода России: Экономико-правовое управление водопользованием.* 2000. С. 39–50.
15. Кудряшова А.М. Обоснование актуальности строительства объектов инженерной защиты от негативного воздействия вод // *World science: problems and innovations: сборник статей победителей VI Международной научно-практической конференции: в 2 ч. (Пенза, 25 декабря 2016 года).* 2016. С. 17–20.
16. Khamutova M., Rezchikov A., Kushnikov V. Algorithms for the Management of Liquidation Process of Floods Consequences // *Recent Research in Control Engineering and Decision Making.* 2019. Vol. 199. p. 540–551. https://doi.org/10.1007/978-3-030-12072-6_44.
17. Heinzlef C., Serre D. Urban resilience: From a limited urban engineering vision to a more global comprehensive and long-term implementation // *Water Security.* 2020. Vol. 11. p. 100075. <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2020.100075>.
18. Шембаков В.А. Инновационная индустриальная технология сборно-монолитного каркаса, разработанная ГК «Рекон-СМК» и используемая 20 лет на рынке РФ и СНГ // *Жилищное строительство.* 2019. № 3. С. 33–38. <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-3-33-38>.

REFERENCES

1. Hoes O, Schuurmans W. Flood standards or risk analyzes for polder management in the Netherlands. *Irrig. Drain.* 2006;55:113-119. <https://doi.org/10.1002/ird.249>.
2. Avakyan AB, Istomina MN. Natural and anthropogenic causes of floods. *Osnovy bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti.* 2001;9:22-27. (In Russ.).

3. Rusman B, Istijono B, Ophyandri T, Junaidi A. Social, Economic and Environmental Perspectives of Flood Assessment on Delta Lowland. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*. 2017;8:966-978.
4. Khamutova MV, Kushnikov VA. Minimization of flood consequences based on the system dynamics model. *Matematicheskiye metody v tekhnike i tekhnologiyakh*. 2017;9:14-17. (In Russ.).
5. Costabile P, Costanzo C, De Lorenzo G, Macchione F. Is local flood hazard assessment in urban areas significantly influenced by the physical complexity of the hydrodynamic inundation model? *Journal of Hydrology*. 2020;580:124231. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124231>.
6. Rosenzweig BR, McPhillips L, Chang H, Cheng C, Welty C, Matsler M, et al. Pluvial flood risk and opportunities for resilience. *WIREs Water*. 2018;5:1-18. <https://doi.org/10.1002/wat2.1302>.
7. Sokolov AV, Shatskikh OV. Analysis of the experience of building coastal fortifications on the territory of the Chita and Amur regions. *Vodnyye resursy i vodopol'zovaniye*. 2007;3:77-80. (In Russ.).
8. Economov IS. Modern methods of building architectural objects on the water. *Trudy MARKHI: materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii (5-10th April, 2010)*. Moscow: MARKHI; 2010. p. 238-244. (In Russ.).
9. Ponyavina NA, Dobrosoki MG, Zolotukhin SN, Potekhin IA. Potential of the decreasing harmful influence of construction industry by reuse of building materials. *Stroitel'stvo i nedvizhimost*. 2019;1(4):19-25. (In Russ.).
10. Dmitrenko EA, Granina TO. Innovative constructive solutions of quickbuilt buildings made from prefabricated reinforced concrete panels. *Vestnik Donbasskoy natsional'noy akademii stroitel'stva i arkhitektury*. 2017;4:108-115. (In Russ.).
11. Grebnev YaV, Yarovoy AV. Control and prediction of floods on the territory of the Krasnoyarsk kray through the use of neural network algorithms. *Sibirskiy pozharno-spasatel'nyy vestnik = Siberian Fire and Rescue Bulletin*. 2018;3(10):13-16. (In Russ.).
12. Morrison A, Westbrook CJ, Noble BF. A review of the flood risk management governance and resilience literature. *J. Flood Risk Management*. 2018;11:291-304. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12315>.
13. Basov AV. Technical regulation and standardization in construction. *Zhilishchnoye stroitel'stvo = Housing construction*. 2019;1-2:3-7. (In Russ.). <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-1-2-3-7>.
14. Kovalenko LS, Shalikovskiy AV, Shakhov IS. The concept of solving the problem of floods. *Voda Rossii: Ekonomiko-pravovoye upravleniye vodopol'zovaniyem*. 2000. p. 39-50. (In Russ.).
15. Kudryashova AM. The rationale for the relevance of construction of objects of engineering protection from the negative impact of water. World science: Problems and innovations: collection of articles by the winners of the VI International Scientific and Practical Conference: in 2 p. (Penza, 25th December 2016). 2016. p. 17-20. (In Russ.).
16. Khamutova M, Rezhnikov A, Kushnikov V. Algorithms for the Management of Liquidation Process of Floods Consequences. *Recent Research in Control Engineering and Decision Making*. 2019;199:540-551. https://doi.org/10.1007/978-3-030-12072-6_44.
17. Heinzlef C, Serre D. Urban resilience: From a limited urban engineering vision to a more global comprehensive and long-term implementation. *Water Security*. 2020;11:100075. <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2020.100075>.
18. Shembakov VA. Innovation industrial technology of precast-monolithic frame developed by GC "Rekon-SMK" and used 20 years at the RF market. *Zhilishchnoye stroitel'stvo = Housing construction*. 2019;3:33-38. <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-3-33-38>. (In Russ.).

Сведения об авторах

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

Information about the authors

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

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

Заявленный вклад авторов

Безруких О. А., Матвеева М. В. имеют равные авторские права. Безруких О. А. несет ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 03.06.2021.
Одобрена после рецензирования 02.07.2021.
Принята к публикации 06.07.2021.

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

Contribution of the authors

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

Conflict of interests

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

The article was submitted 03.06.2021.
Approved after reviewing 02.07.2021.
Accepted for publication 06.07.2021.



О целесообразности использования пластификаторов в производстве теплоизоляционного пенобетона

© О. В. Винокурова, А. А. Баранова

Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск, Россия

Резюме: Целью работы является оптимизация состава теплоизоляционного пенобетона марки по плотности D300 неавтоклавно твердения по результатам ревизии сырьевых компонентов, используемых при изготовлении материала. При планировании эксперимента за изучаемый параметр принята прочностная характеристика пенобетона, за определяющие факторы – водоцементное отношение (В/Ц) цементного раствора (раствора матрицы) и концентрация раствора пены. Область исследования выбрана с учетом возможности формирования структуры пенобетона и обеспечения ее устойчивости. Фактор «В/Ц» рассматривался в пределах значений: $0,60 \div 0,84$ для пенобетона без пластификатора, $0,54 \div 0,78$ – с пластификатором. Концентрация рабочего раствора пены варьировалась в диапазоне от 1 до 9%. Образцы теплоизоляционного пенобетона размером $100 \times 100 \times 100$ мм формовались из пенобетонной смеси, приготовленной по классической технологии. Прочность при сжатии образцов определялась разрушающим методом. В ходе работы получены результаты влияния В/Ц цементного раствора и концентрации рабочего раствора пены на прочность пенобетона с применением пластификатора на основе поликарбоксилата и без него. Определено и обосновано оптимальное количество воды для формирования пористой структуры пенобетона средней плотностью 300 кг/м^3 на синтетическом пенообразователе, обеспечивающее наибольшую прочность. Сделан вывод о том, что применение гиперпластификатора в производстве пенобетона пониженной плотности нецелесообразно. Прочность при сжатии теплоизоляционного пенобетона увеличивается при повышении В/Ц. Между исследованными факторами существует взаимодействие: изменение прочности от В/Ц менее заметно при низкой концентрации раствора пены. При изготовлении теплоизоляционного пенобетона плотностью D300 на синтетическом пенообразователе и рядом портландцементе оптимальное В/Ц (с учетом воды в пене) составляет 0,8.

Ключевые слова: теплоизоляционный пенобетон, синтетический пенообразователь, водоцементное отношение, поликарбоксилатный гиперпластификатор, пористая структура

Для цитирования: Винокурова О. В., Баранова А. А. О целесообразности использования пластификаторов в производстве теплоизоляционного пенобетона // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2021. Т. 11. № 3. С. 432–439. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-432-439>.

Feasibility of using plasticisers for producing heat insulation foam concrete

Olga V. Vinokurova, Albina A. Baranova

Angarsk State Technical University, Angarsk, Russia

Abstract: Based on the audit findings of raw materials used in concrete manufacture, this study aimed to optimise the composition of non-autoclaved heat insulation foam concrete (grade D300). When planning an experiment, a strength characteristic of foam concrete was taken as a parameter, while the cement water factor (W/C) of the cement mortar (matrix) and the concentration of a foam solution were taken as determinant factors. The research area was chosen based on the foam concrete's ability to form the structure and ensure its stability. The "W/C" factor was considered within the following values: $0.60 \div 0.84$ for foam concrete without a plasticiser, $0.54 \div 0.78$ - with a plasticiser. The concentration of the work foam solution was varied across the range from 1 to 9%. Samples of heat insulation foam concrete with dimensions of $100 \times 100 \times 100$ mm were moulded using a foam concrete mixture prepared according to the conventional technology. The compressive strength of the samples was determined by the destructive method. In the course of the work, the influence of W/C

of cement mortar and the concentration of foam work solution on the strength of foam concrete with and without polycarboxylate-based plasticiser was determined. The optimal amount of water was defined and substantiated to obtain the porous structure of foam concrete with an average density of 300 kg/m^3 using a synthetic foaming agent, ensuring the maximum strength. It was concluded that using a superplasticiser for the production of low-density foam concrete is impractical. The compressive strength of heat insulation foam concrete increases with increasing W/C. The following correlation was observed between the investigated factors: the change in strength in the function of W/C is less prominent at a low concentration of the foam solution. To manufacture heat insulation foam concrete with a density of D300 based on synthetic foaming agent and general Portland cement, the optimal W/C (including water in the foam) should amount to 0.8.

Keywords: heat-insulating foam concrete, synthetic foaming agent, water-cement ratio, polycarboxylate hyperplasticizer, porous structure

For citation: Vinokurova O. V., Baranova A. A. Feasibility of using plasticisers for producing heat insulation foam concrete. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2021;11(3):432–439. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-432-439>.

Введение

Прочность бетона является обратной функцией водоцементного отношения (закон Абрамса). Данное утверждение прочно вошло в обиход и применяется в многочисленных методах проектирования составов тяжелого бетона [1].

Правило дало толчок развитию новых технологий по уплотнению бетона, способствовало появлению пластификаторов, гиперпластификаторов, позволяющих значительно сократить количество воды затворения и получить высокопрочные бетоны [2–5].

Применим ли этот постулат, относящийся к тяжелому бетону, в производстве теплоизоляционного пенобетона, где одним из основных сырьевых компонентов является дифильное поверхностно-активное вещество (ПАВ), изменяющее свойства поверхности, а граница раздела «воздух – жидкость» занимает значительную часть пространства пенобетона?

Результаты исследований по данному вопросу противоречивы [6–12] и требуют детальной проработки.

С целью получения теплоизоляционного пенобетона неавтоклавно твердения плотностью 300 kg/m^3 с наибольшими прочностными характеристиками проведены исследования по определению зависимости прочности пенобетона от В/Ц раствора матрицы и концентрации раствора пены, а также проанализировано влияние пластификатора на формирование пористой структуры и ее прочность.

Методы

При испытаниях использованы: синтетический пенообразователь «Пентапав-430» марки А, портландцемент ЦЕМ I 42,5Н АО «Ангарскцемент» и поликарбоксилатный пластификатор

Sokalan. Количество цемента для пенобетона средней плотностью 300 kg/m^3 принималось с учетом увеличения массы за счет связанной воды и составляло 265 кг на 1 m^3 пенобетонной смеси. Поризация цементного раствора с различным В/Ц производилась отдельно приготовленной пеной фиксированной концентрации. Испытание образцов теплоизоляционного пенобетона на прочность при сжатии осуществлялось после 28 суток нормального твердения в соответствии с требованиями ГОСТ 10180. Первый этап исследования посвящен определению зависимости прочности при сжатии пенобетона, приготовленного без пластификатора, от В/Ц раствора матрицы и концентрации раствора пены, второй этап – влиянию пластификатора на оптимальное количество воды в пенобетонной смеси и прочность пенобетона. Зависимость прочности пенобетона без пластификатора от В/Ц и концентрации раствора пены представлена на рис. 1. Ход кривых, изображенных на рис. 1, указывает на тенденцию возрастания прочности пенобетона с увеличением В/Ц раствора матрицы, но при уменьшении концентрации раствора пены до 1% степень влияния В/Ц на прочность снижается. Графики (рис. 1) построены на основе данных, полученных при испытаниях и систематизированных в табл. 1.

Из данных табл. 1 следует, что прочность пенобетона зависит от количества воды в пенобетонной смеси, фиксируемого водоцементным отношением с учетом воды в пене (В/Ц*). Точка экстремума прочности пенобетона, или выхода на плато, соответствует значению В/Ц* около 0,8, независимо от источника поступления воды в пенобетонную смесь, которым является пена или раствор матрицы.

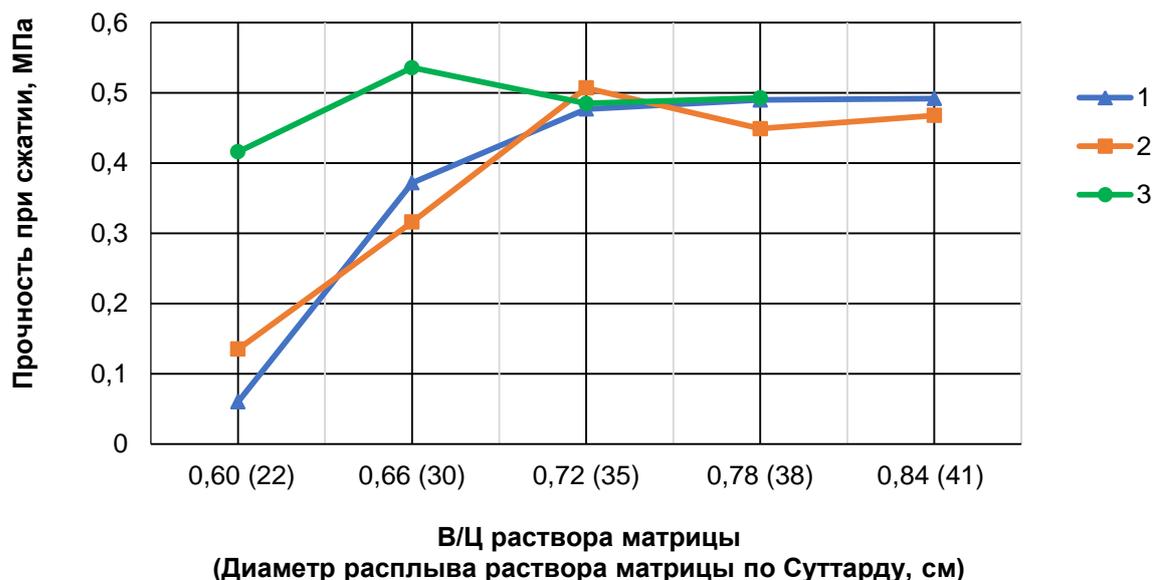


Рис. 1. Зависимость прочности пенобетона марки по плотности D300 от В/Ц раствора матрицы при различном количестве пенообразователя в растворе пены. Концентрация раствора пены: 1 – 9%, 2 – 2%, 3 – 1%

Fig. 1. Dependence of the strength of foam concrete of the D300 density on the W/C of the matrix solution with different amounts of foaming agent in the foam solution. Concentration of foam solution: 1 – 9%, 2 – 2%, 3 – 1%

Таблица 1. Прочность при сжатии пенобетона марки по плотности D300 на синтетическом пенообразователе «Пентапав-430» марки А
Table 1. Compressive strength of D300 density foam concrete on Pentapav-430 synthetic foaming agent, grade A

№	Состав на 1 м ³ пенобетона				В/Ц* (с учетом воды в пене)	Диаметр расплыва раствора матрицы по Суттарду, см	Средняя плотность в сухом состоянии, кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа
	Пена		Раствор матрицы					
	ПАВ, кг	Вода, кг	Цемент, кг	В/Ц				
<i>Концентрация раствора пены – 9%</i>								
1.	1,30	13,0	265	0,60	0,65	22	271	0,06
2.	1,20	12,0	265	0,66	0,71	30	293	0,372
3.	1,01	10,1	265	0,72	0,76	35	311	0,477
4.	1,03	10,3	265	0,78	0,82	38,5	298	0,490
5.	0,86	8,6	265	0,84	0,87	41	307	0,492
<i>Концентрация раствора пены – 2%</i>								
6.	0,49	24,5	265	0,60	0,69	22	305	0,135
7.	0,46	24,1	265	0,66	0,75	30	288	0,316
8.	0,47	23,5	265	0,72	0,81	35	286	0,507
9.	0,39	19,5	265	0,78	0,86	38,5	307	0,449
10.	0,44	22,1	265	0,84	0,92	41	301	0,468
<i>Концентрация раствора пены – 1%</i>								
11.	0,53	47,7	265	0,60	0,78	22	289	0,416
12.	0,39	36,0	265	0,66	0,80	30	301	0,536
13.	0,38	35,1	265	0,72	0,85	35	299	0,485
14.	0,33	34,2	265	0,78	0,91	38,5	313	0,493

Согласно указаниям СН 277-80¹, водотвердое отношение (В/Т) раствора матрицы назначается исходя из требований к текучести смеси. Для ячеистого бетона марки по средней плотности D300 на цементном вяжущем В/Т матрицы соответствует максимальному из требуемых диаметров расплыва смеси по Суттарду – 38 см. Данную текучесть смеси можно обеспечить значительным количеством воды затворения или при помощи пластификатора.

Применение пластифицирующей добавки *Sokalan* на основе поликарбоксилата в количестве 0,1% от массы цемента не повлияло на значение максимальной прочности и опти-

мальное количество воды в пенобетонной смеси. Диспергируя цементные зерна и освобождая иммобилизованную воду [13, 14], пластификатор позволяет повысить прочность пенобетона на уровне низких значений $V/C = 0,54 \div 0,6$ в три раза (до 0,3 МПа). Однако иммобилизованной воды недостаточно, максимальная прочность пенобетона наблюдается при большем В/Ц. Добавление воды в пенобетонную смесь с добавкой *Sokalan* увеличило прочность теплоизоляционного пенобетона, но ее значение не превысило порога прочности пенобетона без пластификатора (рис. 2).

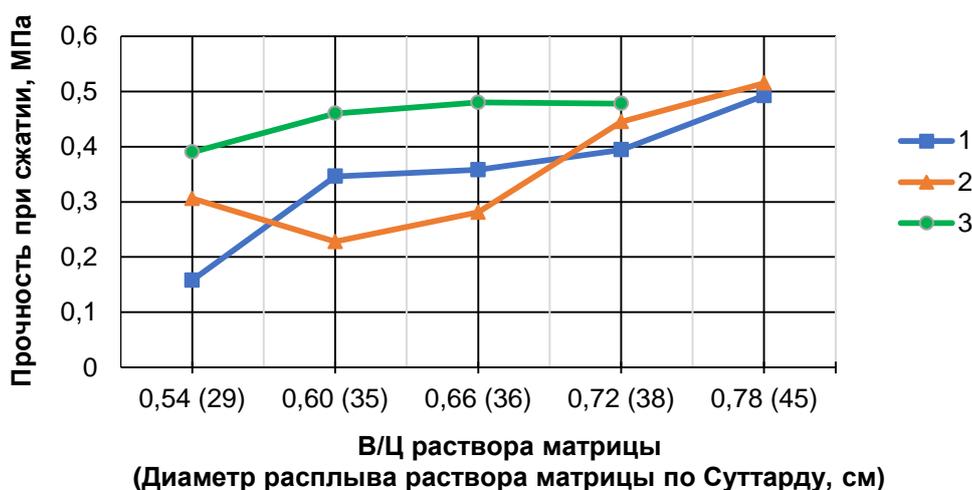


Рис. 2. Зависимость прочности пенобетона марки по плотности D300 с пластификатором *Sokalan* от В/Ц раствора матрицы при различном количестве пенообразователя в растворе пены. Концентрация раствора пены: 1 – 9%; 2 – 2%; 3 – 1%

Fig. 2. Dependence of the strength of foam concrete of the D300 density with *Sokalan* plasticizer on the W/C of the matrix solution with different amounts of foaming agent in the foam solution. Concentration of the foam solution: 1 – 9%; 2 – 2%; 3 – 1%

Таким образом, в составе теплоизоляционного пенобетона неавтоклавного твердения предназначение пластификатора не обеспечивается в полной мере.

Точка экстремума прочности или выхода на плато в пенобетоне с пластификатором *Sokalan* находится в том же значении водоцементного отношения с учетом воды в пене, что и для пенобетона без пластифицирующей добавки – 0,8 (табл. 2).

В пенобетоне цементная система заключена в межпоровом пространстве, ограниченном молекулами пенообразователя. Адсорбируясь на цементных зернах и изменяя смачиваемость их поверхности, молекулы ПАВ блокируют функцию воды как компонента взаимодействия с цементной составляющей. При

перемешивании пены из раствора концентрации 9%, обеспечивающего незначительное содержание в ней воды, и раствора матрицы с низким $V/C = 0,6$ в пенобетонной смеси наблюдается образование рыхлых цементных конгломератов, а прочность пенобетона составляет не более 0,06 МПа (п. 1 табл. 1).

Повышение количества воды в пенобетонной смеси способствует увеличению объема межпорового пространства и внедрению цементных зерен без увеличения на их поверхности концентрации ПАВ. Водоредуцирование и добавление пластификатора в состав тяжелого бетона не обеспечит качество тонкостенной густоармированной конструкции, если при ее изготовлении используется заполнитель недопустимой крупности.

¹СН 277-80. Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона: введ. 01.07.1980 / Госстрой СССР. М.: Стройиздат, 1981. 47 с.

Таблица 2. Прочность при сжатии пенобетона марки по плотности D300 на синтетическом пенообразователе «Пентапав-430» марки А и с пластификатором *Sokalan*
Table 2. Compressive strength of D300 density foam concrete on Pentapav-430 synthetic foaming agent, grade A and with *Sokalan* plasticizer

№	Состав на 1 м ³ пенобетона					В/Ц* (с учетом воды в пене)	Диаметр расплыва раствора матрицы по Суттарду, см	Средняя плотность в сухом состоянии, кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа
	Пена		Раствор матрицы						
	ПАВ, кг	Вода, кг	Цемент, кг	<i>Sokalan</i> , % от массы цемента	В/Ц				
<i>Концентрация раствора пены – 9%</i>									
1.	1,77	17,7	265	0,1	0,54	0,61	29	287	0,158
2.	1,19	11,9	265	0,1	0,60	0,65	35	279	0,346
3.	1,06	10,6	265	0,1	0,66	0,70	36	295	0,358
4.	0,93	9,3	265	0,1	0,72	0,76	38	299	0,394
5.	0,91	9,1	265	0,1	0,78	0,82	45	306	0,492
<i>Концентрации раствора пены – 2%</i>									
6.	0,49	24,5	265	0,1	0,54	0,63	29	275	0,306
7.	0,50	25,0	265	0,1	0,60	0,70	35	270	0,228
8.	0,49	24,5	265	0,1	0,66	0,75	36	283	0,281
9.	0,41	20,5	265	0,1	0,72	0,80	38	290	0,445
10.	0,41	20,5	265	0,1	0,78	0,86	45	301	0,515
<i>Концентрация раствора пены – 1%</i>									
11	0,54	48,6	265	0,1	0,54	0,72	29	293	0,393
12.	0,44	39,6	265	0,1	0,60	0,75	35	293	0,461
13.	0,34	30,6	265	0,1	0,66	0,78	36	295	0,483
14.	0,40	36,2	265	0,1	0,72	0,86	38	317	0,478

Правило Абрамса – частный случай основного закона прочности и применяется для удобоукладываемого тяжелого бетона [15], где реологическую функцию воды может заменить пластификатор. Однако роль дисперсионной среды и компонента, участвующего в образовании гидратов, все же остается за водой.

Несмотря на то, что результатом адсорбции ПАВ на поверхности цемента является нарушение процессов гидратации [16] и низкая прочность пенобетона, гидрофобизация твердых частиц положительно влияет на устойчивость пенобетонной смеси за счет увеличения краевого угла смачивания и вероятности минерализации воздушного пузырька [17]. По данным В.В. Стольникова [18], снижение подвижности цементно-водной пасты при увеличении концентрации воздухововлекающей добавки связано с закономерностями флотационного эффекта. Экспериментальные исследования [19, 20] показали, что с увеличением концентрации в воде затворения пенообразователя «Пентапав-430» от 0,3 до 3% снижается подвижность цементного теста. Пенобетонная смесь – малоустойчивая си-

стема, и результат от флотационных процессов может быть задействован в ее стабилизации.

Таким образом, количество воды в пенобетонной смеси должно быть достаточным для нормального течения процессов гидратации вяжущего, обеспечивающего требуемые прочностные характеристики пенобетона, но не превышать значения, при котором происходит потеря устойчивости ячеистой массы. Пластификатор используется в случае необходимости увеличения пластичности цементного раствора матрицы при условии содержания оптимального количества воды в пенобетонной смеси.

Требование норм СН-277-80 к назначению В/Т в соответствии с диаметром расплыва матрицы предусматривает обеспечение необходимого количества воды для формирования прочной структуры с замкнутой пористостью, и текучесть является ее индикатором. В пенобетоне марки по средней плотности D300 на синтетическом пенообразователе и рядовом портландцементе оптимальное водоцементное отношение с учетом воды в пене составляет $V/C^* = 0,8$. При этом текучесть раствора

матрицы, в зависимости от концентрации раствора пены, находится в пределах 30÷38 см, допускающих равномерное перемешивание компонентов пенобетонной смеси, поэтому применение пластификатора в данном случае является излишним.

Заключение

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Использование пластификатора как водоредуцирующей добавки в составе теплоизоляционного пенобетона не обеспечивается в полной мере. Введение его в состав пенобетона марки по средней плотности D300 на

синтетическом пенообразователе и рядовом портландцементе неэффективно и нецелесообразно. При повышении В/Ц в пенобетоне с пластификатором прочность при сжатии увеличивается, а устойчивость вспененной массы снижается.

2. Водоцементное отношение с учетом воды в пене (В/Ц*) должно быть достаточным для экранирования цементных зерен от молекул ПАВ. Для теплоизоляционного пенобетона плотностью 300 кг/м³ на портландцементном вяжущем без наполнителя при использовании синтетического пенообразователя В/Ц* составляет более 0,8.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dvorkin L.I. Modified water-cement ratio rule for the design of air-entrained concrete // Magazine of Civil Engineering. 2019. No. 1 (85). p. 123–135. <https://doi.org/10.18720/MCE.85.10>.
2. Балыков А.С., Низина Т.А., Макарова Л.В. Критерии эффективности цементных бетонов и их применение для анализа составов высокопрочных композитов // Строительные материалы. 2017. № 6. С. 69–75.
3. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Кардунян Г.С., Чилин И.А. О подборе составов высококачественных бетонов с органоминеральными модификаторами // Строительные материалы. 2017. № 12. С. 58–63.
4. Ezzat M., Xu X., Cheikh K.E., Lesage K., Schutter G.D. Structure-property relationships for polycarboxylate ether superplasticizers by means of RAFT polymerization // Journal of Colloid and Interface Science. 2019. Vol. 553. p. 788–797. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2019.06.088>.
5. Калашников В.И., Тараканов О.В., Кузнецов Ю.С., Володин В.М., Белякова Е.А. Бетоны нового поколения на основе сухих тонкозернисто-порошковых смесей // Инженерно-строительный журнал. 2012. № 8. С. 47–53. <https://doi.org/10.5862/MCE.34.7>.
6. Marcin K., Marta K. Mechanical characterization of lightweight foamed concrete // Advances in Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 2018. p. 6801258. <https://doi.org/10.1155/2018/6801258>.
7. Fu Y., Wang X., Wang L., Li Y. Foam Concrete: A State-of-the-Art and State-of-the-Practice Review // Advances in Materials Science and Engineering. 2020. No. 4. p. 6153602. <https://doi.org/10.1155/2020/6153602>.
8. Lim M., Park W. Investigation on Foam Volume/Fly Ash Relationship of Foam Concrete, and Effect of High Content Micro-Fibre and Microstructure // International Journal of Applied Engineering Research. 2017. Vol. 12. No. 23. p. 13057–13063.
9. Falliano D., Domenico D.D., Ricciardi G., Gugliandolo E. Mechanical Characterization of Extrudable Foamed Concrete: An Experimental Study // International Journal of Civil and Environmental Engineering. 2018. Vol. 12. No. 3. p. 290–294. doi.org/10.5281/zenodo.1316103.
10. Dang B., Wang Y. Experimental study on pore structure and mechanical property of chemical foaming foam concrete // Chemical Engineering Transactions. 2018. Vol. 66. p. 151–156. doi.org/10.3303/CET1866026.
11. Liu Z., Zhao K., Hu C., Tang Y. Effect of Water-Cement Ratio on Pore Structure and Strength of Foam Concrete // Advances in Materials Science and Engineering. 2016. Vol. 2. p. 9520294. <https://doi.org/10.1155/2016/9520294>.
12. Коломацкий А.С., Коломацкий С.А. Теплоизоляционный пенобетон // Строительные материалы. 2002. № 3. С. 18–19.
13. Тейлор Х. Химия цемента. М.: Мир, 1996. 560 с.
14. Петрунин С.Ю., Тарасов В.Н., Короткова Н.П., Гарновесов А.П., Сироткина И.А. Влияние молекулярной структуры поликарбоксилатных суперпластификаторов на свойства бетона // ALITinform: Цемент. Бетон. Сухие смеси. 2016. № 1 (42). С. 68–77.
15. Ли Ф.М. Химия цемента и бетона. М.: Госстройиздат, 1961. 630 с.
16. Шахова Л.Д. Роль пенообразователей в технологии пенобетонов // Строительные материалы. 2007. № 4. С. 16–19.
17. Рамачандран В.С., Фельдман Р.Ф., Коллепарди М., Мальхотра В.М., Долч В.Л., Мехта П.К. и др. Добавки в бетон. М.: Стройиздат, 1988. 575 с.

18. Стольников В.В. Воздухововлекающие добавки в гидротехническом бетоне. Л.: Госэнергоиздат, 1953. 168 с.
 19. Баранова А.А., Савенков А.И., Шустов П.А. Природа пенообразователя и свойства цементной матрицы // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2016.

№ 3 (18). С. 63–70. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2016-3-63-70>.
 20. Баранова А.А., Савенков А.И. Пенообразователи и прочность пенобетона // Известия Сочинского государственного университета. 2014. № 3 (31). С. 10–14.

REFERENCES

- Dvorkin LI. Modified water-cement ratio rule for the design of air-entrained concrete. *Magazine of Civil Engineering*. 2019;1(85):123-135. <https://doi.org/10.18720/MCE.85.10>.
- Balykov AS, Nizina TA, Makarova LV. Criteria of efficiency of cement concretes and their use for analyzing compositions of high-strength composites. *Stroitel'nye materialy = Construction Materials*. 2017;6:69-75. (In Russ.).
- Kaprielov SS, Sheinfeld AV, Kardumyan GS, Chilin IA. About selection of compositions of high-quality concretes with organic-mineral modifiers. *Stroitel'nye materialy = Construction Materials*. 2017;12:58-63. (In Russ.).
- Ezzat M, Xu X, Cheikh KE, Lesage K, Schutter GD. Structure-property relationships for polycarboxylate ether superplasticizers by means of RAFT polymerization. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2019;553:788-797. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2019.06.088>.
- Kalashnikov VI, Tarakanov OV, Kusnetsov YuS, Volodin VM, Belyakova EA. Next generation concrete on the basis of fine-grained dry powder mixes. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal = Magazine of civil engineering*. 2012;8:47-53. <https://doi.org/10.5862/MCE.34.7>.
- Marcin K, Marta K. Mechanical characterization of lightweight foamed concrete. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2018;2018:6801258. <https://doi.org/10.1155/2018/6801258>.
- Fu Y, Wang X, Wang L, Li Y. Foam Concrete: A State-of-the-Art and State-of-the-Practice Review. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2020;4:6153602. <https://doi.org/10.1155/2020/6153602>.
- Lim M, Park W. Investigation on Foam Volume/Fly Ash Relationship of Foam Concrete, and Effect of High Content Micro-Fiber and Microstructure. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2017;12(23):13057-13063.
- Falliano D, Domenico DD, Ricciardi G, Gugliandolo E. Mechanical Characterization of Extrudable Foamed Concrete: An Experimental Study. *International Journal of Civil and Environmental Engineering*. 2018;12(3):290-294. doi.org/10.5281/zenodo.1316103.
- Dang B, Wang Y. Experimental study on pore structure and mechanical property of chemical foaming foam concrete. *Chemical Engineering Transactions*. 2018;66:151-156. doi.org/10.3303/CET1866026.
- Liu Z, Zhao K, Hu C, Tang Y. Effect of Water-Cement Ratio on Pore Structure and Strength of Foam Concrete. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2016;2:9520294. doi.org/10.1155/2016/9520294.
- Kolomatsky AS, Kolomatsky SA. Thermal insulation foam concrete. *Stroitel'nye materialy*. 2002;3:18-19. (In Russ.).
- Taylor H. Cement chemistry. Moscow: Mir; 1996. 560 p. (In Russ.).
- Petrinin SY, Tarasov VN, Korotkova NP, Garnovesov AP, Sirotkina IA. The effect of the molecular structure of polycarboxylate superplasticizers on concrete properties. *ALITinform: Cement. Beton. Suhie smesi = ALITinform: Cement. Concrete. Dry mixes*. 2016;1(42):68-77. (In Russ.).
- Lee FM. Chemistry of cement and concrete. Moscow: Gosstroyizdat; 1961. 630 p. (In Russ.).
- Shakhova LD. The role of foaming agents in foam concrete technology. *Stroitel'nye materialy*. 2007;4:16-19. (In Russ.).
- Ramachandran VS, Fel'dman RF, Kollepari M, Mal'hotra VM, Dolch VL, Mehta PK. Additives to concrete. Moscow: Stroyizdat; 1988. 575 p.
- Stolnikov VV. Air-entraining additives in hydraulic concrete. Leningrad: Gosenergoizdat; 1953. 168 p.
- Baranova AA, Savenkov AI, Shustov PA. Nature of foam generated agent and properties of cement matrix. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2016;3(18):63-70. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2016-3-63-70>.
- Baranova AA, Savenkov AI. Foam Maker and Foam Concrete Durability. *Izvestija Sochinskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2014;3(31):10-14. (In Russ.).

Сведения об авторах

Винокурова Ольга Владимировна,
соискатель кафедры промышленного
и гражданского строительства,
Ангарский государственный технический
университет,
e-mail: neutrino.78@mail.ru
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6136-720X>

Баранова Альбина Алексеевна,
кандидат технических наук,
доцент кафедры промышленного
и гражданского строительства,
Ангарский государственный технический
университет,
665835, г. Ангарск, ул. Чайковского, 60, Россия,
✉e-mail: baranova2012aa@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5939-3334>

Заявленный вклад авторов

Винокурова О. В., Баранова А. А. имеют равные авторские права. Винокурова О. В. несет ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Статья поступила в редакцию 31.05.2021.
Одобрена после рецензирования 25.06.2021.
Принята к публикации 29.06.2021.

Information about the authors

Olga V. Vinokurova,
Applicant of the Department of Industrial
and Civil Engineering,
Angarsk State Technical University,
60 Tchaikovsky St., Angarsk, 665835, Russia,
e-mail: neutrino.78@mail.ru
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6136-720X>

Albina A. Baranova,
Cand. Sci (Eng.), Associate Professor
of the Department of Industrial and Civil
Engineering,
Angarsk State Technical University,
60 Tchaikovsky St., Angarsk, 665835, Russia,
✉e-mail: baranova2012aa@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5939-3334>

Contribution of the authors

Vinokurova O. V., Baranova A. A. have equal author's rights. Vinokurova O. V. bears the responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

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

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

The article was submitted 31.05.2021.
Approved after reviewing 25.06.2021.
Accepted for publication 29.06.2021.



Эффективные конструкции поверхностных фундаментов для линий электропередач

© М. А. Магомедов

Дагестанский государственный технический университет, г. Махачкала, Россия

Резюме: Поверхностные фундаменты представляют собой практичный вариант улучшения механических характеристик опор линий электропередач. Целью статьи является изучение конструкций поверхностных фундаментов и определение наиболее эффективной для использования в качестве опоры ЛЭП. В процессе исследования применялись общенаучные методы научного познания: методы сравнения, анализа, наблюдения, синтеза, обобщения, систематизации, моделирования, а также графического представления полученных результатов. В ходе работы рассмотрены наиболее распространенные типы конструкций поверхностных фундаментов – решетчатые опоры и бетонные блоки. Предложена эффективная конструкция поверхностного фундамента с увеличенной площадью опирания и рациональным расположением железобетонных грузовых балок, позволяющая уменьшить усилия в узлах опор, давление под подошвой фундамента и деформации фундаментных блоков. Данная конструкция рекомендована в качестве опоры для ЛЭП, расположенных в мягких грунтах.

Ключевые слова: поверхностный фундамент, ЛЭП, нагрузка, конструкция

Для цитирования: Магомедов М. А. Эффективные конструкции поверхностных фундаментов для линий электропередач // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2021. Т. 11. № 3. С. 440–445. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-440-445>.

Efficient surface foundations for power lines

Marsel A. Magomedov,

Dagestan State Technical University, Makhachkala, Russia

Abstract: Surface foundations help improve the mechanical performance of transmission towers. In this work, we examined and identified the most effective structures of surface foundations to be used as transmission towers. In the study, general scientific methods were used: comparison, analysis, observation, synthesis, generalisation, systematisation, modelling, as well as the graphical presentation of the results obtained. In the course of the work, the most common structures of surface foundations were considered – lattice poles and concrete blocks. An efficient design of a surface foundation with an increased bearing area and a rational position of reinforced concrete main girder have been proposed, which allows the strain in the support nodes, the pressure under the foundation bed and the deformation of the foundation blocks to be reduced. This design is recommended as a transmission tower to be used on soft soils.

Keywords: surface foundation, power lines, load, structure

For citation: Magomedov M. A. Efficient surface foundations for power lines. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2021;11(3):440-445. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-440-445>.

Введение

Строительство линии электропередачи – это очень сложный и достаточно затратный проект [1, 2]. Связано это с тем, что большое внимание необходимо уделять безопасности при строительстве и эксплуатации опор и несущих конструкций. Как свидетельствует практика, 10–30% от общей стоимости строительства ЛЭП уходит на формирование ее фунда-

мента [3–5]. Проекты ЛЭП носят линейный характер, что приводит к повышенной изменчивости характеристик грунта. Фундаменты ЛЭП – это крупные инвестиции, они зачастую гораздо дороже стальных монопольных конструкций, которые они поддерживают [6]. Данные фундаменты также становятся причиной превышения стоимости сметных работ и внесения изменений в проект из-за непредвиденных усло-

вий, плохих грунтов, обильных грунтовых вод или подземных препятствий, что может привести к задержке строительства или, что еще хуже, к перепрокладке линий электропередач. Каждый фундамент ЛЭП представляет собой отдельный и уникальный строительный проект. В типичном проекте строительства ЛЭП может использоваться несколько различных конструкций фундаментов в зависимости от результатов геотехнических исследований и/или грунтовых условий, встречающихся на площадке [7–10]. В рамках данного исследования рассмотрим более подробно поверхностные фундаменты ЛЭП.

Методы

В процессе исследования применялись общенаучные методы научного познания: методы сравнения, анализа, наблюдения, синтеза, обобщения, систематизации, моделирования, а также графического представления полученных результатов.

Результаты и их обсуждение

Задача выбора наиболее эффективных конструкций поверхностных фундаментов для ЛЭП обусловлена тем, что опоры и подстанции часто расположены в труднодоступных местах, со сложными грунтами и неблагоприятными метеорологическими и климатическими условиями, в том числе проектировщикам нередко приходится сталкиваться с заболоченными участками. Кроме того, с постепенным увеличением напряжения в системе электропередач увеличились и размеры фундаментов, поэтому необходимо отметить, что для типичной четырехпроводной линии 500 кВ обычными являются нагрузки на одну опору 70 или 80 тонн. Для

натяжных башен предельные нагрузки часто достигают 200 или 300 тонн. Соответственно, выбранная конструкция фундамента для конкретной башни должна обеспечивать экономичную и надежную опору на весь срок службы линии, а фундамент должен быть совместим с грунтом и обеспечивать заданную прочность на протяжении всего периода службы. В данном контексте особое внимание привлекают эффективные конструкции поверхностных фундаментов. В настоящее время используются следующие типы поверхностных фундаментов для ЛЭП: стальной ростверк, или решетчатые опоры, бетонный фундамент, бетонный шнек, или кессон, каменный фундамент, сплошной фундамент. Рассмотрим более подробно некоторые из этих видов [11–14].

Решетчатые опоры широко используются для конструкций опорных башен. Для расчета конструкции ее элементы подбираются на основе расчетных изгибающих моментов и напряжений [15]. На рис. 1, а показана типичная конфигурация приложенной нагрузки (H) на башню, переданные нагрузки (Q) на нижележащие фундаменты и мобилизованное сопротивление фундаментов (R) для конструкций опор ЛЭП и направления нагрузки $\theta = 0^\circ$.

Учитывая направление нагрузки на рис. 1, а, передние и задние сваи подвергаются сжимающим и восходящим растягивающим усилиям [16–17]. Когда приложенная нагрузка (H) изменяет направление в боковую сторону, например с 0° на 45° , как показано на рис. 1, б, механизм сопротивления фундаментов также может измениться.

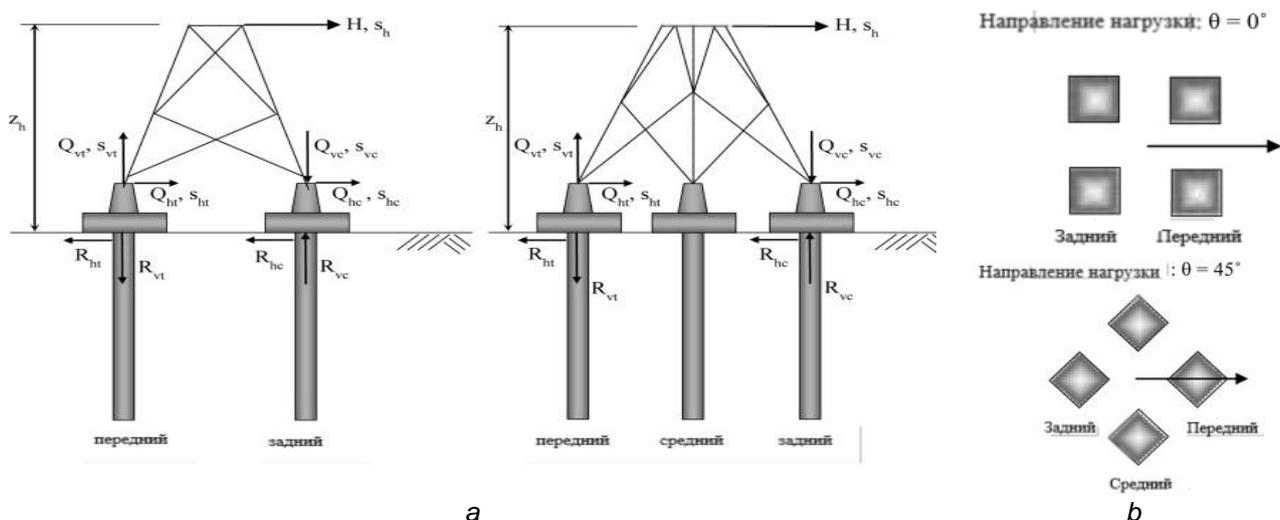


Рис. 1. Конфигурации нагрузок и сопротивлений для решетчатых опор конструкций ЛЭП:

а – направление нагрузки $\theta = 0^\circ$; б – направление нагрузки $\theta = 45^\circ$

Fig. 1. Configurations of loads and resistances for lattice supports of power transmission line structures:

а - load direction $\theta = 0^\circ$; б - load direction $\theta = 45^\circ$

Бетонные блоки используются для покрытия любой части стальных работ под землей. Этот тип поверхностного фундамента предназначен для использования там, где

почвенные условия являются приемлемыми, и вода находится под стороной фундамента [18] (рис. 2).

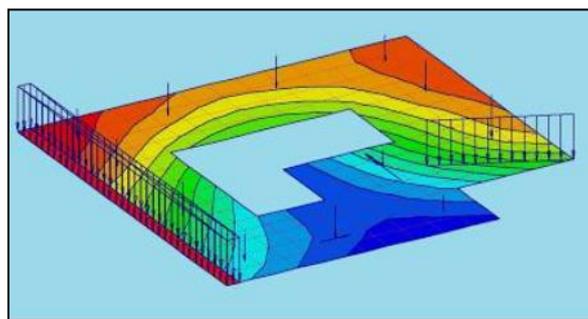


Рис. 2. Бетонный фундамент для ЛЭП
Fig. 2. Concrete foundation for power lines

Практика показала, что самым эффективным поверхностным фундаментом является фундамент, состоящий из рационально расположенных грузовых балок. Повышение прочности опоры, работающей на вертикальную нагрузку, при увеличении площади фундамента дает значительный эффект, в срав-

нении с его исходным положением. Количество балок и их рациональное расположение рекомендованы исходя из технико-экономического обоснования их применения на производстве, т.е. по соотношению «деформационная и несущая способность – расход материала» (рис. 3).

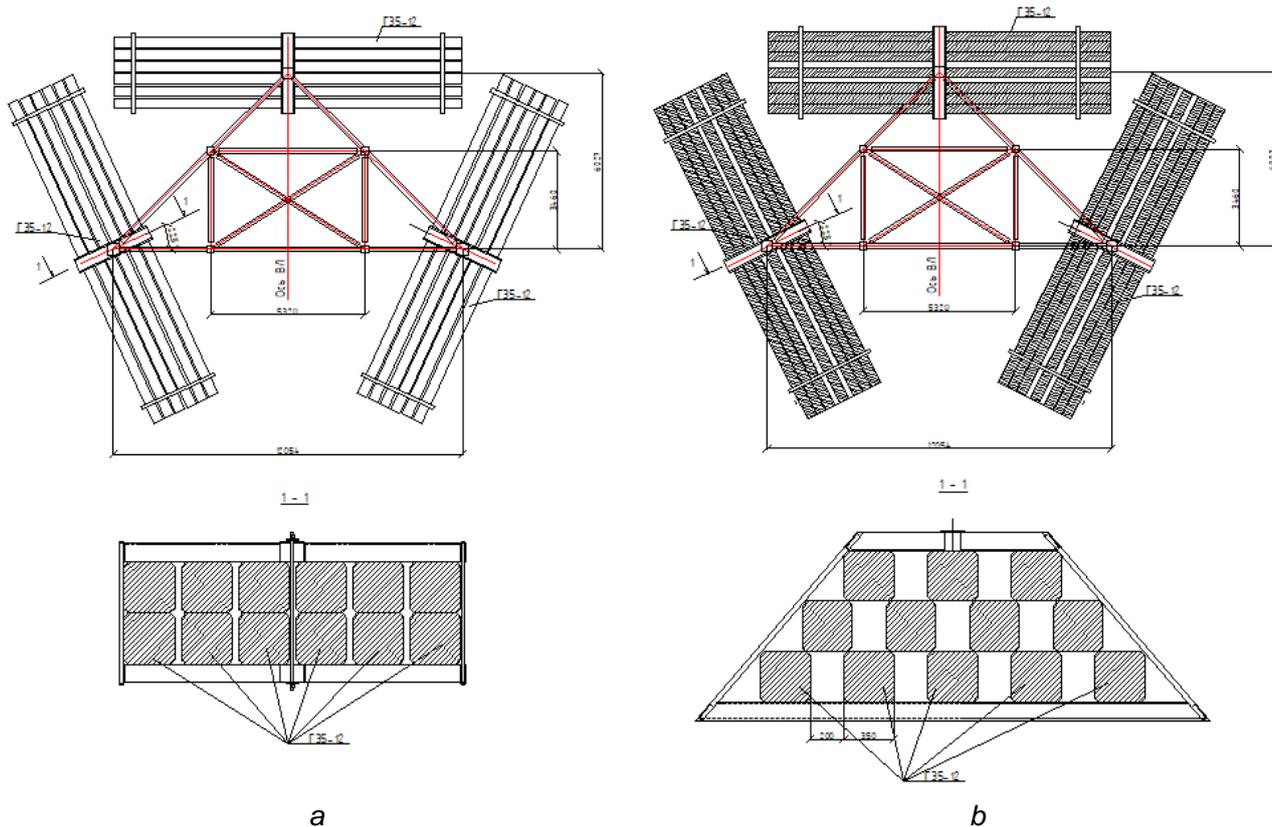


Рис. 3. Поверхностный фундамент: а – с обычным расположением железобетонных грузовых балок; б – из железобетонных грузовых балок с увеличением площади опирания (с рациональным расположением балок)
Fig. 3. A surface foundation: a - with the usual arrangement of reinforced concrete cargo beams; b - of reinforced concrete cargo beams with an increase in the support area (with a rational arrangement of beams)

Предлагается конструкция с увеличением площади опирания на грунт (расположение грузовых балок в шахматном порядке). Применение таких конструкций позволит уменьшить усилия в узлах опор, снизить давление под подошвой фундамента и деформации фундаментных блоков за счет равномерного опирания фундамента на основание, а также нахождения всех башмаков опоры в одной плоскости.

Заключение

Поверхностные фундаменты для ЛЭП являются эффективным типом основ для улучшения структурных и геотехнических характеристик конструкций опор электропередачи в мягких грунтах. Наиболее распространенными

являются решетчатые опоры и бетонные блоки. Для увеличения несущей способности и уменьшения смещений могут использоваться связанные фундаменты [19–20]. Плотность грунта, угол наклона земляного полотна и предельная несущая способность почвы являются основными параметрами, которые необходимо учитывать при выборе и проектировании фундаментов ЛЭП.

В качестве одного из наиболее эффективных для линий электропередач предложен поверхностный фундамент с увеличенной площадью опирания на грунт и состоящий из рационально расположенных (в шахматном порядке) грузовых балок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yingbo Z., Hang Ch., Qiupeng Z., Zhiqiang D., Xiaojing G., Lisong G., et al. The influence of excavation of combined foundations of high-voltage transmission towers and spoils loading on landslide stability // IOP conference series: Materials science and engineering. 2020. Vol. 780. p. 042041. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/780/4/042041>.
2. Магомедов М.А. Оптимизация конструкций поверхностного фундамента воздушной линии электропередач // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2020. Т. 10. № 2. С. 242–249. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2020-2-242-249>.
3. Сенькин Н.А., Малютин Д.Г., Зимин К.А., Турлаков К.Е. Применение винтовых свай при строительстве воздушных линий электропередачи // Энергия единой сети. 2020. № 1 (50). С. 32–38.
4. Adishchev V.V., Zubkov A.S., Ivanov A.I., Maltsev V.V., Panichev A.Yu., Blaznov A.N. Rational design of steel–GFRP towers for ultra-compact overhead power lines // Mechanics of advanced materials and structures. 2020. Vol. 27. Iss. 3. p. 189–195. <https://doi.org/10.1080/15376494.2018.1472331>.
5. Качановская Л.И., Романов П.И., Касаткин С.П. Современные проекты секционированных железобетонных опор для уменьшения стоимости воздушных линий электропередачи // Энергетик. 2020. № 1. С. 3–9.
6. Kalaga S., Yenumula P. Design of electrical transmission lines: structures and foundations. Boca Raton: CRC Press, 2015. 354 p.
7. Качановская Л.И., Калиновский И.Н. Новые железобетонные конструкции для выборочной замены опор магистральных линий электропередачи // Электроэнергия. Передача и распределение. 2020. № 3 (60). С. 80–83.
8. Indulkar C.S. Construction and Erection of Overhead Electric Power Transmission Lines // Electrical India. 2011. Vol. 51. № 5. p. 54–67.
9. Сабитов Л.С., Гатиятов И.З., Кашапов Н.Ф. Математическое моделирование узлов соединений опор ВЛ из тонкостенных стержней оболочек закрытого профиля // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2018. Т. 10. № 2. С. 16–26.
10. Tang GR, Jiang M. Analysis and Research on Inspection Methods of Drilling Holes in Power Transmission Line Foundation // Applied mechanics and materials. 2015. Vol. 799–800. Part 2. p. 1268–1271. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.799-800.1268>.
11. Ахтямова Л.Ш., Сабитов Л.С., Маилян А.Л., Маилян Л.Р., Радайкин О.В. Технологические и конструктивные особенности проектирования модульного железобетонного фундамента под высотное сооружение различного типа // Строительные материалы и изделия. 2019. Т. 2. № 6. С. 5–11.
12. Новоселов Е., Жуков М. Составные грибовидные фундаменты повышенной долговечности для опор ВЛ 35–110 КВ // Электроэнергия. Передача и распределение. 2018. № S4 (11). С. 17–21.
13. Васильев С.В., Федоров Ю.Ю. Разработка композитной траверсы анкерной концевой опоры линии электропередачи 6–10КВ // Евразийское Научное Объединение. 2019. № 5-2 (51). С. 108–110.
14. Lin J.Sh. An Urgent Slope Reinforcement for a Power Transmission Tower Foundation // Advanced materials research. 2013. Vol. 859. p. 289–292. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.859.289>.

15. Сенченко В.А., Каверзнева Т.Т. Проблемы пересечений линий связи и линий электропередач на общих опорах в условиях города // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2019. Т. 10. № 3. С. 76–86. <https://doi.org/10.15593/2224-9826/2019.3.08>.

16. Yuan G., Yang B., Huang Zh., Tan X. Experimental study on the stability of the transmission tower with hybrid slab foundation // Engineering structures. 2018. Vol. 162. p. 151–165. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.01.066>.

17. Nateghi R., Guikema S.D., Wu Yu.(G.), Bruss C.B. Critical Assessment of the Foundations of Power Transmission and Distribution Reliability Metrics and Standards // Risk analysis. 2016. Vol. 36. Iss. 1. p. 4–15. <https://doi.org/10.1111/risa.12401>.

18. Chen L., Yu W.B., Liu W.B., Yi X. Numerical Simulation of Pile Foundations of Qinghai-Tibet Power Transmission Line: Influence of Temperature Region // Applied mechanics and materials. 2014. Vol. 501–504. Part 1. p. 218–223. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.501-504.218>.

19. Huang X., Zhao L., Chen Z., Liu Ch. An online monitoring technology of tower foundation deformation of transmission lines // Structural health monitoring. 2019. Vol. 18. № 3. p. 949–962. <https://doi.org/10.1177/1475921718774578>.

20. Кожевников А.Н. Исследование влияния монтажных усилий на динамические характеристики имитационной модели опоры воздушной линии электропередачи // Динамика систем, механизмов и машин. 2019. Т. 7. № 1. С. 67–72. <https://doi.org/10.25206/2310-9793-7-1-67-72>.

REFERENCES

1. Yingbo Z, Hang Ch, Qiupeng Z, Zhiqiang D, Xiaojing G, Lisong G et al. The influence of excavation of combined foundations of high-voltage transmission towers and spoils loading on landslide stability. *IOP conference series: Materials science and engineering*. 2020;780:042041. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/780/4/042041>.

2. Magomedov MA. Structural optimisation of shallow foundations for overhead power line. *Izvestija vuzov. Investicii. Stroitelstvo. Nedvizhimost' = Izvestiya vuzov. Investments. Construction. Real estate*. 2020;10(2):242-249. (In Russ.).

3. Senkin NA, Malyutin DG, Zimin KA, Turlakov KE. Application of screw piles in the construction of overhead power lines. *Energiya ednoi seti*. 2020;1(50):32-38. (In Russ.).

4. Adishchev VV, Zubkov AS, Ivanov AI, Maltsev VV, Panichev AYU, Blaznov AN. Rational design of steel-GFRP towers for ultracompact overhead power lines. *Mechanics of advanced materials and structures*. 2020;27(3):189-195. <https://doi.org/10.1080/15376494.2018.1472331>.

5. Kachanovskaya LI, Romanov PI, Kasatkin SP. Sectioned reinforced concrete power transmission poles reduce the cost of overhead lines, and modern projects will become the basis for digital space electrical network. *Energetik*. 2020;1:3-9. (In Russ.).

6. Kalaga S, Yenumula P. Design of electrical transmission lines: structures and foundations. Boca Raton: CRC Press; 2015. 354 p.

7. Kachanovskaya LI, Kalinovskiy IN. New concrete constructions for selective replacement of bulk transmission line towers PO Energozhelezobetoninvest, LLC, Rosseti FGC UES company.

Jelektrojenergija. Elektroenergiya. Peredacha i raspredelenie. 2020;3(60):80-83. (In Russ.).

8. Indulkar CS. Construction and Erection of Overhead Electric Power Transmission Lines. *Electrical India*. 2011;51(5):54-67.

9. Sabitov LS, Gatiyatov IZ, Kashapov NF. The development of a technique of dynamic tests of supports. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo jenergeticheskogo universiteta*. 2018;10(2):16-26. (In Russ.).

10. Tang GR, Jiang M. Analysis and Research on Inspection Methods of Drilling Holes in Power Transmission Line Foundation. *Applied mechanics and materials*. 2015;799-800:1268-1271. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.799-800.1268>.

11. Akhtyamova LSh, Sabitov LS, Mailyan AL, Mailyan LR, Radaikin OV. Technological and design features of designing a modular reinforced concrete foundation for a high-rise building of various types. *Stroitel'nye materialy i izdeliya = Construction materials and products*. 2019;2(6):5-11. (In Russ.).

12. Novoselov E, Zhukov M. Compound mushroom-like foundations of increased durability for poles of 35-110 KV overhead lines. *Elektroenergiya. Peredacha i raspredelenie*. 2018;S4(11):17-21. (In Russ.).

13. Vasiliev SV, Fedorov YuYu. Development of a composite traverse of an anchor end support for a 6-10KV power line. *EvrAzijskoe Nauchnoe Ob'edinenie = Eurasian Scientific Association*. 2019;5-2 (51):108-110. (In Russ.).

14. Lin JSh. An Urgent Slope Reinforcement for a Power Transmission Tower Foundation. *Advanced materials research*. 2013;859:289-292.

<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.859.289>.

15. Senchenko VA, Kaverzneva TT. Problems of communication lines and electric transmission lines on general support in city conditions. *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura*. 2019;10(3):76-86. <https://doi.org/10.15593/2224-9826/2019.3.08>.

16. Yuan G, Yang B, Huang Zh, Tan X. Experimental study on the stability of the transmission tower with hybrid slab foundation. *Engineering structures*. 2018;162:151-165. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.01.066>.

17. Nateghi R, Guikema SD, Wu Yu(G), Bruss CB. Critical Assessment of the Foundations of Power Transmission and Distribution Reliability Metrics and Standards. *Risk analysis*. 2016;36(1):4-15.

<https://doi.org/10.1111/risa.12401>.

18. Chen L, Yu WB, Liu WB, Yi X. Numerical Simulation of Pile Foundations of Qinghai-Tibet Power Transmission Line: Influence of Temperature Region. *Applied mechanics and materials*. 2014;501-504:218-223. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.501-504.218>.

19. Huang X, Zhao L, Chen Z, Liu Ch. An online monitoring technology of tower foundation deformation of transmission lines. *Structural health monitoring*. 2019;18(3):949-962. <https://doi.org/10.1177/1475921718774578>.

20. Kozhevnikov AN. Investigation of mounting forces affecting on dynamic characteristics of power transmission line pylon simulation model. *Dinamika sistem, mehanizmov i mashin = Dynamics of systems, mechanisms and machines*. 2019;7(1):67-72. (In Russ.).

Сведения об авторе

Магомедов Марсель Айдемирович, аспирант кафедры автомобильных дорог, оснований и фундаментов, Дагестанский государственный технический университет, 367000, г. Махачкала, ул. Пехотная, 45, Россия, e-mail: marsmag05@yandex.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5517-919X>

Information about the author

Marsel A. Magomedov, postgraduate student, Department of Highways, Foundations and Foundations, Dagestan State Technical University, 45 Pekhohnaya str., Makhachkala, 367000, Russia, e-mail: marsmag05@yandex.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5517-919X>

Заявленный вклад автора

Автор выполнил исследовательскую работу, на основании полученных результатов провел обобщение, подготовил рукопись к печати. Автор имеет на статью исключительные авторские права и несет ответственность за плагиат.

Contribution of the author

The author performed the research, made generalization based on the results obtained and prepared the copyright for publication. The author has exclusive author's right and bear responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Статья поступила в редакцию 14.07.2021. Одобрена после рецензирования 10.08.2021. Принята к публикации 12.08.2021.

Conflict of interests

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

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

The article was submitted 14.07.2021. Approved after reviewing 10.08.2021. Accepted for publication 12.08.2021.



Учет неопределенности водопотребления при оптимизации перспективных схем развития систем водоснабжения и водоотведения

© В. В. Пешков, В. А. Бобер, О. К. Шлепнев

Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Резюме: Проектирование городских систем водоснабжения и водоотведения связано с преодолением различных неопределенностей экономического, технического, природного и антропогенного характера. Наиболее значимыми из неопределенностей являются расчетные нагрузки по объемам потребления воды и отведения стоков. Если будет запроектирована и построена система водоснабжения и водоотведения на нагрузки большие, чем они окажутся в реальности, то из-за скорости движения воды и стоков будет происходить образование застойных зон, заиливание трубопроводов и даже их закупорка. Если фактическая нагрузка окажется больше той, на которую рассчитаны системы, это приведет к большим гидравлическим потерям напора, завышенным эксплуатационным расходам и значительному износу оборудования. Риски, которые возникают в случае завышения или занижения расчетных нагрузок, очень велики, поскольку в том и другом случае потребуется реконструкция и огромные финансовые вложения. Для минимизации таких рисков в работе предлагается методика, основанная на принципах многоэтапной и адаптивной процедуры реализации проекта с выбором траектории развития с минимальными рисками от принимаемых решений на каждом из этапов реализации проекта. Проведенные численные эксперименты показали эффективность предлагаемой методики и соответствие ее сложившейся в стране технологии проектирования и развития систем водоснабжения и водоотведения. Данная методика позволяет выбрать оптимальную по критерию затрат жизненного цикла траекторию развития системы.

Ключевые слова: системы водоснабжения и водоотведения, минимизация рисков, оптимизация траектории развития, затраты жизненного цикла

Для цитирования: 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. С. 446–451. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-446-451>.

Addressing uncertainty in water consumption when optimising promising water supply and disposal schemes

Vitaliy V. Peshkov, Viktor A. Bober, Oleg K. Shlepnev

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract: The design of urban water supply and disposal systems is associated with overcoming various uncertainties of an economic, technical, natural and anthropogenic nature. Among them, the estimated loads for water consumption and discharge are the most significant. If water supply and disposal systems are designed and built for loads higher than the actual values, the water and runoff flow rates will cause quiescent area, pipeline silting and even plugging. If the actual load exceeds the designed load, this will lead to significant hydraulic pressure losses, overstated operating costs and considerable equipment wear. The risks involved with overestimating or underestimating the design loads are very high, as both would require reconstruction and immense financial investments. To minimise such risks, we propose a methodology based on a multi-stage and adaptive project implementation with minimum risks when making a decision at each step. A numerical study demonstrated the efficiency of the proposed methodology and its conformity with the domestic design process and development of water supply and disposal systems. This method allows the optimal way of system development to be chosen according to the life cycle costs.

Keywords: water supply and sanitation systems, risk minimization, optimization of development trajectory, life cycle costs

For citation: 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):446-451. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-446-451>.

Введение

При разработке схем водоснабжения и водоотведения и при их проектировании на отдаленную перспективу возникают неопределенности параметрического, экономического и организационного характера [1–3]. Перечислим наиболее значимые из них, которые влияют на эффективность работы будущей системы и которые необходимо учитывать при принятии решения о строительстве, реконструкции и развитии систем водоснабжения и водоотведения:

1. Неполюценность или неточность информации о параметрах новой техники и технологий в будущих периодах развития систем водоснабжения и водоотведения.

2. Некачественный прогноз и возможные ошибки в назначении расчетных значений объемов потребления воды и отведения стоков, которые обусловлены вариативностью перспективного удельного водопотребления, завышением показателей по жилищному, промышленному и социальному строительству или невыполнением плана ввода этих объектов в строй в обозначенные интервалы времени.

3. Колебания рыночных курсов, цен, рыночной конъюнктуры на строительные материалы, изделия и конструкции.

4. Неопределенность природно-климатических условий (холодные зимы, снежные покровы, дождливые или засушливые лето и осень, температурные аномалии), которые сказываются на глубине промерзания грунта, приводят к превышению расчетной интенсивности дождей, увеличению потребления воды и влияют на отведение сточных вод.

5. Возможные стихийные бедствия (наводнения и землетрясения), которые могут приводить к каскадному развитию аварий и возможному разрушению системы в целом, что требует резервирования дополнительных финансовых средств или повышения надежности работы системы до требуемых значений.

6. Неточность информации о финансовом положении и возможностях инвесторов и предприятий-застройщиков.

Учет перечисленных неопределенностей осуществляется путем проверки устойчивости проекта, и, при необходимости, корректировки его параметров, а также за счет применения нечеткого представления поведения системы, минимизации рисков на основе методов принятия

решения¹ [4, 5].

В последние годы благодаря проводимым в стране энерго-, ресурсосберегающим мероприятиям и устройству водосберегающей арматуры практически в два раза уменьшилась непроизводительная составляющая водопотребления населения, однако эффективная составляющая (приготовление пищи, стирка белья, уборка помещения и др.) осталась в прежних значениях и по отдельным городам даже увеличилась. Возможно, в ближайшее десятилетие эффективная составляющая водопотребления будет расти за счет появления новой бытовой техники, и люди будут чаще пользоваться душем, бассейнами и другими сантехническими приборами. Хотя насколько увеличится или уменьшится удельное водопотребление населения в целом, спрогнозировать затруднительно. При проектировании систем водоснабжения и водоотведения в качестве исходных данных принимаются перспективные нагрузки потребления воды, которые, согласно сложившейся градостроительной технологии, можно получить из утвержденных перспективных схем водоснабжения и водоотведения или из актуализированных генпланов поселений. Генеральные планы всегда нацелены на развитие и строительство новых объектов жилья, школ, больниц, развлекательных учреждений, промышленных и других объектов. Однако реальная ситуация часто оказывается иной, далекой от планируемых показателей. Численность населения уменьшается, инвесторы не находятся, и, как следствие, планируемые объекты не строятся. Возможны и обратные случаи, когда неожиданно находятся и выделяются огромные денежные средства и строятся объекты, не предусмотренные в генплане. В том или ином случае, предвидеть заранее эти обстоятельства невозможно. Невозможно также корректировать по каждому поводу всю градостроительную документацию. Энерго- и ресурсосберегающая политика привела к существенному уменьшению удельных показателей потребления воды во всех сферах деятельности человека. Но нормативная база не изменилась или не успевает корректироваться вслед за уменьшающимися значениями удельного водопотребления. В итоге, проектировщики пользуются устаревшими нормативами и уже заранее завышают параметры проектируемых систем.

Миграционные процессы, происходящие в

¹Бродецкий Г.Л. Системный анализ в логистике. Выбор в условиях неопределенности: учебник. М.: Академия, 2010. 336 с.

настоящее время, вносят дополнительную неопределенность в назначение параметров будущей системы водоснабжения и водоотведения. Ярким примером являются групповые водопроводы, построенные в 60-е годы прошлого столетия, которые в настоящее время загружены всего на 40–50 %. Причиной этого является то, что люди уезжают из небольших поселков в крупные города. В настоящее время наблюдаются случаи, когда вода подведена в населенные пункты, в которых никто не живет. Групповые водопроводы – это капиталоемкие сооружения, насчитывающие десятки тысяч километров трубопроводов и сотни насосных станций подкачки, эксплуатационные затраты измеряются в миллиардах рублей. При этом нарушается технология транспортирования воды и теряется ее качество. Централизованные системы водоснабжения и водоотведения являются энергозатратными сооружениями. Проектировщики при обосновании параметров таких сооружений стремятся уменьшить гидравлические потери в трубопроводах за счет увеличения диаметров и использования труб с гладкой внутренней поверхностью. Однако в нашей стране стоимость электроэнергии в различных регионах отличается в разы (минимальная в Иркутской области и почти в 10 раз больше в Магаданской области). Такая ситуация обусловлена корпоративными интересами энергетических компаний. Нет уверенности в том, что эта ситуация сохранится на долгие годы: либо цены сравняются, либо, наоборот, увеличится разница между ними. Однако неизвестно, когда это произойдет и на какие значения должны ориентироваться проектировщики.

Результаты и их обсуждение

Для минимизации рисков предлагается подход, основанный на принципе «Принимай решение с минимальной заблаговременностью». Что означает: «Не делай того сегодня, что можно сделать завтра». Наступит «завтра», информация изменится и уточнится, и можно будет принять более обоснованное решение. Также предлагается применять принцип «Не приступай к реализации проекта, если есть время для его доработки». Время снимает неопределенность. Неопределенная информация переходит в разряд вероятностной, а вероятностная информация становится детерминированной [6–9]. Реализация проекта должна выполняться по этапам. Этапы должны быть минимальными по времени. С учетом указанных принципов, реализацию проекта реконструкции и развития систе-

мы водоснабжения и водоотведения предлагается разбивать на этапы (очереди строительства). Например, если Схема водоснабжения и водоотведения принята на 15 лет, то количество очередей (этапов) реализации проекта можно принять равными 3 или 5 годам. Продолжительность очередей строительства зависит от времени действия инвестиционной программы предприятий коммунального комплекса (водоканала), которая, согласно закону «О водоснабжении и водоотведении», разрабатывается на период не менее трех лет. В инвестиционных программах определяются финансовые потребности на срок реализации проекта. Следовательно, финансирование проекта возможно в рамках времени действия инвестиционной программы. При этом так же, как и при назначении объемов потребления воды, возникают риски недофинансирования проекта. В том и другом случае эти риски должны быть просчитаны. Относительно перспективного водопотребления возникают следующие риски:

– от неопределенности удельного водопотребления (которое, как уже отмечалось, может уменьшаться или увеличиваться за время действия инвестиционной программы);

– от невыполнения программы строительства (объектов жилищного, социального, и промышленного назначения). Объекты могут быть не введены в строй ко времени реализации проекта по водоснабжению и водоотведению.

Очевидно, что за три года удельное водопотребление изменится незначительно, и его можно представить вероятностной величиной [10–12]. Невыполнение же программ строительства жилья, социальной и промышленной сферы, на основе которых формируются инвестиции на подключение новых абонентов, может привести к большим проблемам. Вода будет подведена к объектам, а объектов может и не быть или они появятся через неопределенное время. Поэтому интервал неопределенности для таких абонентов можно моделировать от нуля до расчетных значений потребления воды.

Следовательно, для каждого перспективного потребителя можно назначить возможные интервалы проектных нагрузок по воде и сточной жидкости. Для финансовой оценки рисков эти интервалы разбиваются на ряд фиксированных нагрузок (n), которым приписываются соответствующие вероятности их появления (если эти вероятности можно определить), либо для них формируются функции принадлежности к нечетким множествам² [13–15]. С учетом фиксиро-

²Ухоботов В.И. Избранные главы теории нечетных множеств: учеб. пособ. Челябинск: Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2011. 245 с.;

Добронец Б.С. Интервальная математика: учеб. пособ. Красноярск: СФУ, 2007. 287 с.

ванных значений нагрузок водопотребления выполняются расчеты стоимости реализации проектов, которых будет (n). Затем на основании полученных проектов и их стоимости строится «матрица рисков». В этой матрице первый столбец и первая строка представляют расчетные нагрузки водопотребления каждого интервала разбиения. В ячейках диагонали этой матрицы указываются соответствующие инвестиции в проекты. Следовательно, диагональ матрицы будет указывать на стопроцентное совпадение принятых в проекте нагрузок потребления воды с их фактическими значениями после реализации проекта. Например, запроектировали систему на определенные расходы, которые через три года оказались равными фактическим значениям водопотребления. Варианты, которые будут располагаться в ячейках матрицы по ее диагонали, будут соответствовать случаям несовпадения нагрузок. Например, запроектировали систему на определенный расход воды, а через три года фактические расходы оказались меньше или значительно меньше проектных. Следовательно, будут затрачены излишние финансовые средства, что является рискованным. Для приведения системы водоснабжения и водоотведения к требуемым фактическим нагрузкам ее потребуется реконструировать на меньшие расчетные значения. Для данных мероприятий потребуются дополнительные финансовые вложения. В матрице рисков эти затраты записываются в соответствующие ячейки с учетом затрат, расположенных на диагонали матрицы. Варианты, располагающиеся после диагональных элементов, будут соответствовать случаям, когда запроектировали систему водоснабжения и водоотведения на определенные нагрузки, а после реализации проекта фактические значения оказались больше или значительно больше, чем заложенные в проекте. В этом случае также потребуется реконструировать систему водоснабжения и водоотведения с целью доведения ее параметров до достаточных для транспортировки фактических нагрузок. На это потребуются дополнительные к основному проекту инвестиции. Суммарные значения инвестиций записываются в соответствующие ячейки матрицы.

Таким образом, матрица рисков представляет всевозможные случаи совпадения и несовпадения проектных нагрузок с их фактическими значениями, которые могут наблюдаться после реализации проекта. Значения инвестиций в каждой ячейке матрицы будут представ-

лять все возможные финансовые риски. С учетом построенной таким образом «матрицы рисков» необходимо выбрать предпочтительный вариант для строительства, который бы имел минимальное суммарное значение финансовых рисков. Для этого используются критерии теории принятия решения (вычисляются значения критериев Грувица, Лапласа, Севиджа и др.). После выбора предпочтительного варианта строительства, реконструкции или развития системы водоснабжения и водоотведения осуществляется его реализация (строительство). В ходе реализации проекта исходная информация по нагрузкам водопотребления и водоотведения, а также по удельным показателям строительства уточняется. И если в процессе реализации проекта возможны какие-либо корректировки, то их обязательно надо выполнять.

После реализации первого этапа и первой инвестиционной программы окончательно уточняются фактические нагрузки водопотребления и их удельные значения, а также и удельная стоимость по отдельным видам строительно-монтажных работ. С учетом последних, выполняется обоснование параметров второй очереди строительства. При этом формируется новая инвестиционная программа, и все вышеперечисленные процедуры повторяются. Выбирается предпочтительный вариант второй очереди, реализуется и т.д. Следует отметить, что в такой процедуре «инвестиционная программа» как инструмент финансирования проекта должна сама по себе учитывать финансовые риски ее возможного неисполнения и также должна корректироваться в ходе ее реализации.

Заключение

Предложенная методика оценки рисков при проектировании и строительстве систем водоснабжения и водоотведения требует разработки специальных подходов и методов оптимизации проектных решений с учетом существующих сетей и сооружений, их развития и консервации, когда расчетные нагрузки либо увеличиваются, либо уменьшаются. Частично такие методы предлагаются в работах³ [16], однако они требуют развития и совершенствования, а также реализации предложенной выше методологии проектирования систем водоснабжения в условиях вариативности их основных параметров и неопределенности водопотребления и водоотведения. Представленная новая методика обоснования параметров развивающихся систем водоснабжения и водоотведения

³Чупин Р.В. Модели и методы развития и реконструкции систем водоотведения в условиях вариативности перспективного отведения сточных вод: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Пенза, 2020. 43 с.

учитывает возможные риски из-за вариативности водопотребления и невыполнения обяза-

тельств по введению в строй объектов капитального строительства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федосова Р.Н., Крюкова О.Г. Управление рисками промышленного предприятия: опыт и рекомендации. М.: Экономика, 2008. 125 с.
2. Старостенко С.В. Факторы риска в сфере жилищно-коммунального хозяйства // Стратегии бизнеса. 2017. № 5 (37). С. 3–11.
3. Спицина Л.В. Классификация рисков в сфере жилищно-коммунальных услуг в современных условиях // Известия Томского политехнического университета. 2012. Т. 321. № 6. С. 62–66.
4. Хохлов Н.В. Управление риском. М.: Флинта, 2003. 239 с.
5. Мушик Э., Мюллер П. Методы принятия технических решений. М.: Мир, 1990. 208 с.
6. Нefeldова Е.Д., Хьямяляйнен М.М., Ковжаровская И.Б. Опыт оценки эффективности мероприятий инвестиционной программы предприятия водопроводно-канализационного хозяйства // Водоснабжение и санитарная техника. 2017. № 3. С. 68–70.
7. Чупин Р.В., Примин О.Г. Обоснование параметров новых и реконструируемых систем водоотведения в условиях неопределенности перспективного потребления воды и сброса стоков // Водоснабжение и санитарная техника. 2017. № 11. С. 36–45.
8. Пахомов П.И., Немчинов В.А. Технология поддержки принятия решений по управлению инженерными коммуникациями. М.: Машиностроение, 2009. 124 с.
9. Таха Х. Введение в исследование операций: в 2-х кн. М.: Мир 1985. I – 476 с., II – 496 с.

10. Евдокимов А.Г., Тевяшев А.Д. Потокораспределение в инженерных сетях. М.: Стройиздат, 1979. 200 с.
11. Евдокимов А.Г., Тевяшов А.Д., Дубровский В.В. Моделирование и оптимизация потокораспределения в инженерных сетях. М.: Стройиздат. 1990. 368 с.
12. Вербицкий А.С. Расчетный режим водопотребления и его использование при проектировании // Научные труды АКХ им. К.Д. Памфилова. 1978. № 155. С. 40–45.
13. Карамбиров С.Н., Трикозюк С.А. Многорежимная стохастическая оптимизация систем подачи и распределения воды // Природообустройство. 2008. № 5. С. 63–69.
14. Карамбиров С.Н. Математическое моделирование системы подачи и распределения воды в условиях многорежимности и неопределенности: монография. М.: Стройиздат, 2004. 197 с.
15. Карамбиров С.Н., Бекишева Л.Б. О некоторых статистических закономерностях водопотребления в системах водоснабжения // Природообустройство. 2012. № 4. С. 45–48.
16. Чупин Р.В, Пукемо М.М., Мелихов Е.С., Чупин В.Р. Совершенствование методики оптимизации и разработка предложения по созданию единой схемы водоотведения центральной экологической зоны Байкальской природной территории на примере Слюдянского района Иркутской области // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2019. Т. 9. № 1. С. 144–157. <http://dx.doi.org/10.21285/2227-2917-2019-1-144-157>.

REFERENCES

1. Fedosova RN, Kryukova OG. Industrial enterprise risk management: experience and recommendations. Moscow: Ekonomika; 2008. 125 p. (In Russ.).
2. Starostenko SV. Risk factors in communal sector. *Strategii biznesa*. 2017;5(37):3-11. (In Russ.).
3. Spitsina LV. Classification of risks in the field of housing and communal services in modern conditions. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta*. 2012;321(6):62-66. (In Russ.).
4. Khokhlov NV. Risk management. Moscow: Flinta; 2003. 239 p. (In Russ.).
5. Mushik E, Myuller P. Techniques for making technical decisions. Moscow: Mir; 1990. 208 p. (In Russ.).
6. Nefedova ED, Khyamyalyainen MM, Kovzharovskaya IB. The experience of evaluating the effi-

- ciency of the actions of the investment program of a water supply and wastewater disposal enterprise. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water Supply and Sanitary Technique*. 2017;3:68-70. (In Russ.).
7. Chupin RV, Primin OG. Justification of the parameters of new and reconstructed wastewater disposal systems in the face of uncertainty in the future water consumption and wastewater discharge. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 2017;11:36-45. (In Russ.).
8. Pakhomov PI, Nemchinov VA. Decision support technology for management of engineering communications. Moscow: Mashinostroenie; 2009. 124 p. (In Russ.).

9. Takha Kh. Introduction to Operations Research: in 2 vol. Moscow: Mir; 1985. I – 476 p., II – 496 p. (In Russ.).
10. Evdokimov AG, Tevyashev AD. Flow distribution in engineering networks. Moscow: Stroiizdat; 1979. 200 p. (In Russ.).
11. Evdokimov AG, Tevyashov AD, Dubrovskii VV. Modeling and optimization of flow distribution in engineering networks. Moscow: Stroiizdat; 1990. 368 p. (In Russ.).
12. Verbitskii AS. Estimated mode of water consumption and its use in design. 1978;155:40-45. (In Russ.).
13. Karambirov SN, Trikozyuk SA. Multimode stochastic optimization of water supply and distribution systems. *Prirodoobustroistvo*. 2008;5:63-69. (In Russ.).
14. Karambirov SN. Mathematical modeling of the water supply and distribution system under conditions of multimode and uncertainty: monograph. Moscow: Stroiizdat; 2004. 197 p. (In Russ.).
15. Karambirov SN, Bekisheva LB. About some statistical regularities of water consumption in water supply systems. *Prirodoobustroistvo*. 2012;4: 45-48. (In Russ.).
16. Chupin RV, Pukemo MM, Melikhov ES, Chupin VR. Unified wastewater disposal scheme for the central Baikal ecological zone on the example of the Slyudyansky district of the Irkutsk region: methodological optimisation and design proposal. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2019;9(1):144-157. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.21285/2227-2917-2019-1-144-157>.

Сведения об авторах

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

Бобер Виктор Анатольевич,
аспирант кафедры
городского строительства и хозяйства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия

Шлепнев Олег Константинович,
аспирант кафедры
городского строительства и хозяйства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8969-611X>

Заявленный вклад авторов

Пешков В. В., Бобер В. А., Шлепнев О. К. имеют равные авторские права.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 25.06.2021.
Одобрена после рецензирования 22.07.2021.
Принята к публикации 26.07.2021.

Information about the authors

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

Viktor A. Bober,
Postgraduate student of the Department
of Urban Construction and Economy,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia

Oleg K. Shlepnev,
Postgraduate student of the Department
of Urban Construction and Economy,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8969-611X>

Contribution of the authors

Peshkov V. V., Bober V. A., Shlepnev O. K. have equal author's rights.

Conflict of interests

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

The article was submitted 25.06.2021.
Approved after reviewing 22.07.2021.
Accepted for publication 26.07.2021.



Композиционный строительный материал с использованием отходов лесохимии в составе

© Г. П. Плотникова

Братский государственный университет, г. Братск, Россия

Резюме: Цель – разработка технологии производства бетонов и их составов с применением лигнина гидролизного как компонента, улучшающего их качественные характеристики (прочность при сжатии, водонепроницаемость, морозостойкость). Для достижения поставленной цели требовалось решить следующие задачи: исследовать химический состав гидролизного лигнина; выявить влияние процесса механохимической активации на структуру гидролизного лигнина; подобрать оптимальные условия получения композиционных строительных материалов; определить физико-механические свойства разработанных композиционных материалов. В опытах использовали портландцемент М 400, в качестве мелкого заполнителя – песок (ГОСТ 8736-2014) с модулем крупности 2,2 в соотношении 1:4 (т.к. ожидаемый класс бетона – В35), водоцементное отношение составило 0,5, использованы жидкое натриевое стекло (ГОСТ 13078-81) в количестве 10%, органический наполнитель – тонкомолотый гидролизный лигнин, органический модификатор – карбамид (ГОСТ 2081-92). При определении химического состава гидролизного лигнина использовался метод ИК-спектроскопии. Исследование показало, что гидролизный лигнин является активной органической добавкой. Наличие в его молекулах сильно полярных групп (гидроксильных, карбонильных, карбоксильных), способных к сильному межмолекулярному взаимодействию, может способствовать его ассоциации в растворах, привести к возможным реакциям сшивания цепей, реакциям «конденсации», причем как в кислой, так и в щелочной среде. Для получения качественных композиционных материалов строительного назначения с заранее заданными свойствами рекомендована сырьевая смесь, состоящая из портландцемента, песка и дополнительных компонентов: гидролизный лигнин в количестве 30–50% от массы смеси и карбамид в количестве 20–40% от массы смеси.

Ключевые слова: гидролизный лигнин, бетоны, цемент, карбамид, жидкое стекло

Для цитирования: Плотникова Г. П. Композиционный строительный материал с использованием отходов лесохимии в составе // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2021. Т. 11. № 3. С. 452–461. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-452-461>.

Composite building material containing wood chemistry waste

Galina P. Plotnikova

Bratsk State University, Bratsk, Russia

Abstract: The objective of this study is to develop a technology for manufacturing concretes and their formulations using hydrolysed lignin to improve their quality characteristics (compressive strength, water repellency, frost resistance). To achieve this goal, the following tasks should be solved: to study the chemical composition of hydrolysed lignin; to reveal the influence of mechanochemical activation on the structure of hydrolysed lignin; to select optimal conditions for obtaining composite building materials; to determine the physical and mechanical properties of the developed composite materials. Portland cement M 400 was used in the experiments; sand was used as a fine aggregate (GOST 8736-2014) with a fineness modulus of 2.2 at a ratio of 1:4 (the expected concrete grade is B35). The water-cement ratio was 0.5. 10% sodium water glass (GOST 13078-81), finely ground hydrolysed as lignin organic filler and carbamide (GOST 2081-92) as organic modifier were used. IR spectroscopy was used to determine the chemical composition of hydrolysed lignin. The study showed that hydrolysed lignin is an active organic additive. The polar groups (hydroxyl, carbonyl, carboxyl) in its molecule are capable of strong intermolecular interaction and can facilitate its association in solutions, leading to possible chain cross-linking reactions, condensation reactions, both in acidic and alkaline media. To obtain high-quality

construction composite materials with desired properties, the following raw mixture comprising Portland cement, sand and additional components is recommended: 30–50% of hydrolysed lignin and 20–40% of carbamide of the mixture mass.

Keywords: hydrolysis lignin, concrete, cement, carbamide, liquid glass

For citation: Plotnikova G. P. Composite building material containing wood chemistry waste. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2021;11(3):452-461. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-452-461>.

Введение

Реалии сегодняшнего дня таковы, что цены на основной компонент строительных материалов – цемент – значительно выросли и продолжают расти. В соответствии с направлениями концепции устойчивого развития, комплексное использование сырья, в том числе органических и минеральных отходов промышленности, и создание на его основе новых композиционных материалов с новыми физико-механическими свойствами, значительно улучшенными, с целью их дальнейшего использования в малоэтажном домостроении является важной и актуальной задачей. Отходы химической переработки древесины отличаются разнообразием свойств и могут стать эффективной добавкой в бетон. Положительный эффект предопределяется их химическим составом [1–4]. На территории России и бывшего Советского союза ранее функционировали 18 гидролизных заводов, и на сегодняшний день накоплено в отвалах около 95 млн тонн гидролизного лигнина, представляющего серьезную экологическую опасность. В научной литературе известно достаточно много трудов и патентов, подтверждающих возможность использования лигнина в промышленности, медицине, производстве удобрения, в качестве топлива, в составе битума при строительстве автодорог¹ [5–7]. Возможность использования гидролизного лигнина в составе материалов строительного назначения изучали такие ученые, как В.Ф. Завадский, В.М. Никифоров, Э.П. Плотни-

ков, В.М. Селиванов, А.А. Тинников, Т.Ю. Химерик, М.И. Чудаков. Однако проблема отвалов гидролизного лигнина, их самовозгорания на сегодняшний день до сих пор не решена, и, согласно имеющимся данным, промышленное использование гидролизного лигнина не превышает 5%. Национальный проект «Жилье и городская среда» предусматривает «модернизацию строительной отрасли и повышение качества индустриального жилищного строительства, в том числе посредством <...> стимулирования внедрения передовых технологий в проектировании и строительстве»². Поэтому предпринята попытка вовлечения многотоннажных отходов лесохимического производства – гидролизного лигнина – в состав строительных материалов³ [8].

Методы

Для идентификации функциональных групп гидролизного лигнина из отвалов бывшего Канского биохимзавода использовался ИК-спектрометр модели *IRPrestige-21* (производство *Shimadzu*, Япония). Фурье-преобразователь прибора обеспечивает сканирование в широком диапазоне спектров (рис. 1). Принципом работы ИК-спектрофотометров является процесс поглощения в инфракрасном спектре молекулами вещества энергии электромагнитного излучения. Процесс поглощения происходит в результате колебаний атомов в молекулах. Имеющиеся в молекуле активные функциональные группы (карбонильные C=O, гидроксильные -OH, метиленовые CH₂ и др.) показы-

¹Ипатова Е.В. Деструкция и новые направления использования гидролизного лигнина: автореф. дис. ... канд. хим. наук. Санкт-Петербург, 2017. 16 с.;

Магдалин А.А. Лигнобитумная теплогидроизоляция на органо-минеральном связующем для кровельных покрытий: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 1995. 16 с.;

Макарова И.А. Стеновая керамика с лигносодержащими добавками на основе продуктов сульфатной переработки древесины: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 1993. 19 с.;

Соломонова Е.Б. Лигнополимерсиликатный арболит: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2004. 24 с.;

Федорова О.В. Многоступенчатое выделение лигнинного комплекса из черного щелока при производстве сульфатной целлюлозы: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Санкт-Петербург, 2020. 16 с.;

Шибяева Г.Н. Лигноминеральные шпатлевочные материалы: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 1998. 16 с.

²Национальный проект «Жилье и городская среда» [Электронный ресурс] // Минстрой России. URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/trades/natsionalnye-proekty/natsionalnyy-proekt-zhilye-i-gorodskaya-sreda/> (11.06.2021).

³Шурышева Г.В. Лигнополимерсиликатная композиция для защиты бетона от органической коррозии: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2008. 22 с.

вают колебания на определенной частоте. Прибор к работе готовят следующим образом: сначала его калибруют по полистирольной пленке в соответствии с программным обеспечением *IRsolution*, снимают фоновый спектр без образца и фиксируют его. После этого уже считывают спектр вещества, подлежащего измерению. Пробу для анализа готовят следующим образом: искомое вещество берут в количестве 1–3 мг, растирают пестиком в агатовой ступке и приливают 3–5 капель вазелинового масла (допускается использовать силиконовое

или парафиновое масла). В получившуюся суспензию затем добавляют бромистый калий из расчета: на 1–2 мг вещества расходуется 300 мг калия бромистого. После этого смесь прессуют под давлением, образуя таблетки. Искомую таблетку далее помещают в кюветное отделение прибора и записывают спектр пропускания в диапазоне 4000–400 см⁻¹. Далее производят расчет спектра с помощью программного обеспечения *IRsolution*, а реакционные группы в спектрах идентифицируют из библиотеки.



Рис. 1. ИК-спектрофотометр Shimadzu (Япония)
Fig. 1. IR spectrophotometer Shimadzu (Japan)

Для исследований использовали гидролизный лигнин Канского биохимзавода, пролежавший в отвале более 10 лет. Была осуществлена подготовка гидролизного лигнина, которая заключалась в процессе механоактивации на роторно-вихревой мельнице. Схема работы мельницы отражена на рис. 2. Проведение такой предварительной обработки представляется нам важным, потому что может способствовать стабилизации гранулометрического состава и усреднению влажности искомого лигнина⁴. Композиционный материал испытывали в возрасте 28 сут. Прочность бетона определяли по показателю «предел прочности при одноосном сжатии» по ГОСТ 25820-2014. Скорость нагружения образцов составляла 5–10 мм/мин. Водопоглощение определяли методом вымачивания в течение 24 ч (ускоренный метод).

Результаты и их обсуждение

Механоактивированный гидролизный лигнин является аморфным веществом и представляет собой порошок от светло-кремового до темно-коричневого цвета, обладает специфическим запахом. В составе гидролизного лигнина обнаруживаются:

- собственно лигнин – 40–88%;
- трудногидролизуемые полисахариды – 13–45%;

- смолистые соединения и вещества лигнуминового комплекса – 5–19%;
- зольные элементы – 0,5–10%.

Многие исследователи отмечают, что лигнин является гигроскопичным веществом и обладает хорошей сорбционной способностью [9]. Лигнин склонен к самовоспламенению, в составе аэрозолей способен к взрыванию. Лигнин воспламеняется при температуре 195°C, самовоспламеняется при 425°C, тлеет при 185°C. Плотность лигнинного вещества составляет 1,33–1,34 г/см³, насыпная плотность – 190–220 кг/м³, размер частиц лигнина – 10–100 мкм, pH водного раствора – 6,2. Гидролизный лигнин является полимером, состоящим из фенилпропановых структурных единиц, он имеет ароматическую природу. Использование гидролизного лигнина на сегодняшний день ограничено наличием серной кислоты, однако известно, что у лигнина развита капиллярная структура. Высказано предположение, что лигнин, пролежавший в отвалах более 10 лет, возможно, не имеет свободной серной кислоты [10], что за многолетнее «вылеживание» естественным путем происходит вымывание примесей атмосферными осадками.

⁴Просвирников Д.Б. Переработка лигноцеллюлозной биомассы, активированной методом паровзрывной обработки: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Казань, 2019. 40 с.

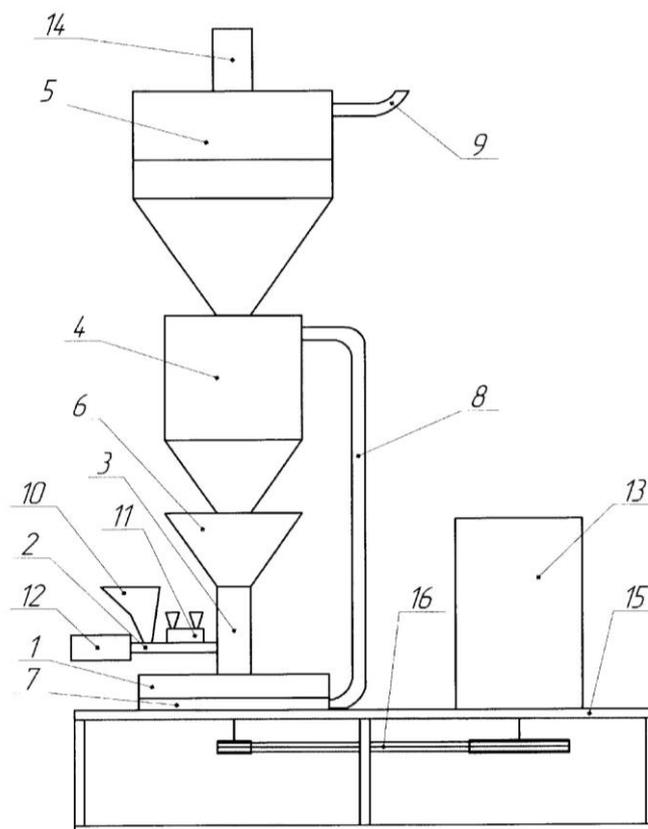


Рис. 2. Схема работы роторно-вихревой мельницы:

1 – камера помола; 2 – шнек для подачи сырья; 3 – патрубок; 4 – сепаратор для газации (циклон); 5 – аэродинамический сепаратор; 6 – камера для стабилизации; 7 – камера для материала, не прошедшего сепарацию (подготовка к аспирации); 8 – пневмотранспорт; 9 – патрубок для отвода измельченного материала; 10 – устройство для загрузки; 11 – дозатор для подачи дополнительного материала; 12, 13, 14 – двигатели; 15 – рама; 16 – ременная передача

Fig. 2. Operation diagram of rotor-vortex mill:

1 – grinding chamber; 2 – feed screw; 3 – nozzle; 4 – gasification separator (cyclone); 5 – aerodynamic separator; 6 – stabilization chamber; 7 – chamber for non-separated material (preparation for aspiration); 8 – pneumatic transport; 9 – branch pipe for removal of crushed material; 10 – loading device; 11 – dosing device for supply of additional material; 12, 13, 14 – motors; 15 – frame; 16 – belt transmission

Возможно, снижение кислотности лигнина происходит в результате вымывания углеводных и фенольных примесей. При этом сохраняются гетерокапиллярная структура лигнина и большое количество наноразмерных пустот. Возможное использование такого вида сырья, подготовленного природой, позволит исключить стадию нейтрализации свободной кислоты и удаления низкомолекулярных продуктов, заключающуюся в промывке лигнина.

После проведения механоактивации гидролизный лигнин представляет собой мелкодисперсный порошок коричневого цвета однородной консистенции. Средний размер его частиц составляет 5 мкм. Удельная поверхность лигнина до и после микронизации – 9,6 м²/г и 18,9 м²/г соответственно. Таким образом, механоактивация увеличивает удель-

ную поверхность гидролизного лигнина и снижает количество остаточных полисахаридов, что является перспективным при его возможном использовании в технологическом процессе изготовления композиционных строительных материалов. Кроме того, при механоактивации лигнин повышает свою гидрофобность, на его поверхности появляются активные центры, что, вероятно, может положительно повлиять на его сорбционные свойства [11–14].

В ИК-спектре гидролизного лигнина из отвалов бывшего биохимзавода (г. Канск) идентифицированы следующие функциональные группы (рис. 3):

– свободные гидроксильные группы (3696,64 см⁻¹ и 3620,45 см⁻¹);

- гидроксильные фенольные группы ($3696,64\text{ см}^{-1}$ и $3620,45\text{ см}^{-1}$);
- группы -C-O- и группы C-H двойной связи ($1418,67\text{ см}^{-1}$);
- метиленовые -CH₂- связи ($2921,24\text{ см}^{-1}$, $2851,8\text{ см}^{-1}$);
- связанные гидроксильные группы во внутрикомплексных соединениях ($2514,25\text{ см}^{-1}$);
- галогенангидриды насыщенных и ненасыщенных кислот и карбонильные группы C=O ($1795,76\text{ см}^{-1}$);

- колебания ароматического кольца ($1626,98\text{ см}^{-1}$);
- колебания ацеталей -C-OH ($950,92\text{ см}^{-1}$);
- симметричные колебания кольца ($913,31\text{ см}^{-1}$);
- колебания C-H в производных бензола ($873,77\text{ см}^{-1}$, $798,54\text{ см}^{-1}$ и $778,29\text{ см}^{-1}$);
- деформационные колебания связей C-H и C-O ($873,77\text{ см}^{-1}$);
- маятниковые CH₂ колебания ($778,29\text{ см}^{-1}$).

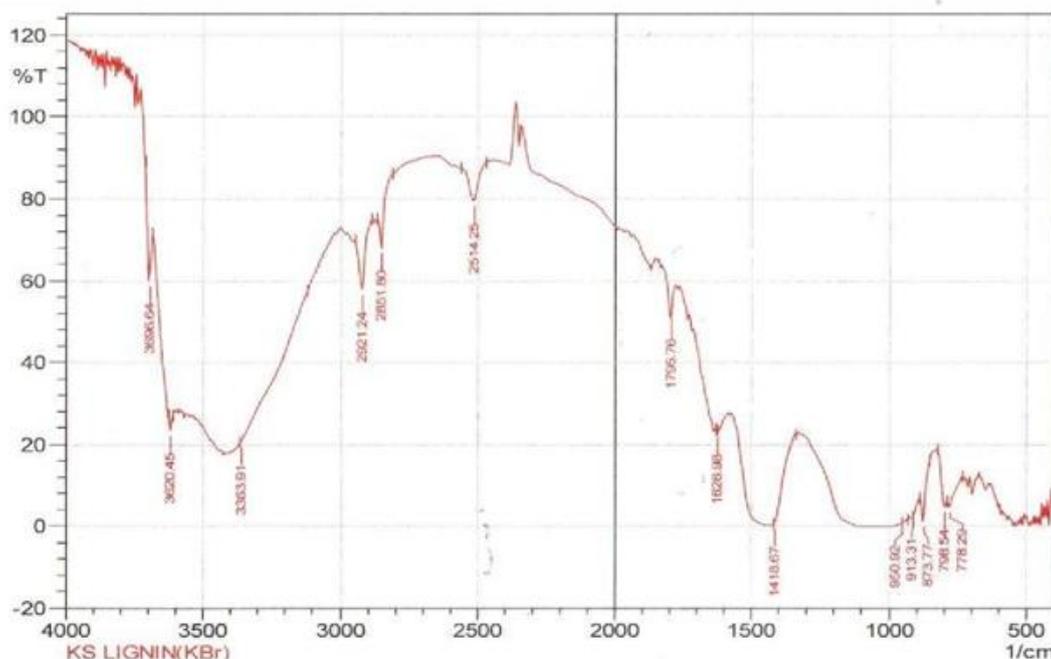


Рис. 3. ИК-спектр гидролизного лигнина
Fig. 3. IR spectrum of hydrolysis lignin

Анализируя химический состав лигнина по ИК-спектру, можно увидеть, что в его спектре есть только ангидриды кислот и нет свободной серной кислоты, что подтверждается также измерением водородного показателя его водного раствора ($pH = 6,2$).

Процесс снижения кислотности, вероятно, связан с блокировкой гидроксильных групп фенольной природы и декарбоксилированием карбоксильных групп. Эти группы гидрофильны, и в результате, после вымывания осадками, вероятно, в лигнине происходит конденсация простых эфирных связей, которые являются гидрофобными.

На рис. 4 показаны результаты определения предела прочности при одноосном сжатии, МПа (по ГОСТ 10180-90), в зависимости от состава композиции бетона. На основании проведенных исследований можно заключить,

что лигнин является активным наполнителем в процессе взаимодействия сильно полярных групп с гидроксильными группами кальция цемента, что дает основания предполагать возможность его применения в качестве наполнителя цементно-песчаной смеси с целью экономии дорогого цемента. Плотность полученного легкого бетона составила $1400\text{--}1450\text{ кг/м}^3$, а показатель предела прочности на сжатие – $40\text{--}45\text{ МПа}$.

Таким образом, при введении $30\text{--}50\%$ механоактивированного лигнина прочность при одноосном сжатии образцов увеличивается на 17% , значит, добавление механоактивированного лигнина усиливает когезию вяжущего, а следовательно, гидролизный лигнин является эффективным модификатором строительной композиции⁵ [14].

⁵Киселев В.П. Комплексное использование отходов химической переработки биомассы дерева и других вторичных ресурсов в производстве композиционных вяжущих и материалов, полученных на их основе: автореф. дис. ... д-ра. техн. наук. Красноярск, 2006. 44 с.

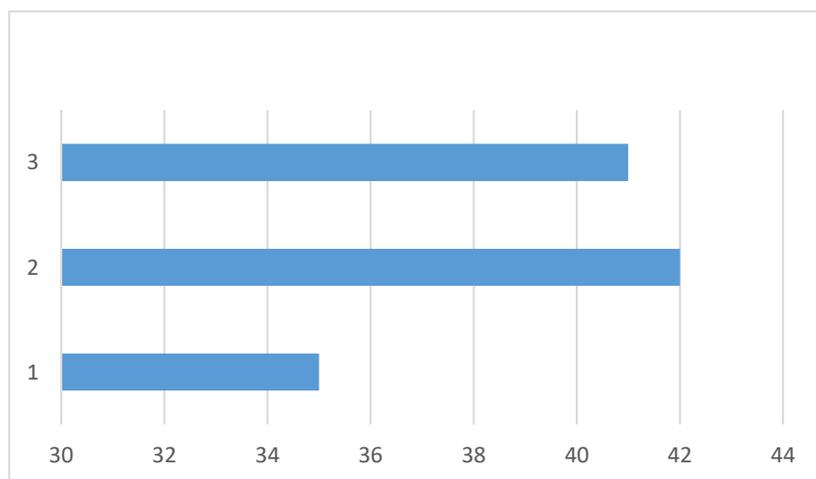


Рис. 4. Предел прочности при одноосном сжатии, МПа (по ГОСТ 10180-90), в зависимости от состава композиции: 1 – чистый бетон; 2 – бетон с заменой 30% портландцемента на гидролизный лигнин; 3 – бетон с заменой 20% портландцемента на карбамид

Fig. 4. Ultimate strength at uniaxial compression, MPa (as per GOST 10180-90), depending on the composition: 1 – pure concrete; 2 – concrete with replacement of 30% Portland cement with hydrolysis lignin; 3 – concrete with replacement of 20% Portland cement with carbamide

Водорастворимый карбамид-мономер также является модификатором, он склонен к полимеризации (поликонденсации) под влиянием щелочной среды жидкого стекла, поэтому введение карбамида в состав бетона в количестве 20% способствует увеличению прочности на сжатие на 20%. Введение лигнина с карбамидом повышает и водостойкость вяжущего. При формировании композиции с 30% лигнина и 20% карбамида коэффициент водостойкости составляет 0,84–0,88, кроме того, снижается водопоглощение в 1,44 раза.

При использовании карбамида в составе композиции снижается ее водопотребность. Так, использование карбамида в количестве

$$Y_1 = 73,25 - 1,169 X_1 + 1,169 X_2 - 6,25 X_1^2 - 8,25 X_2^2 - 0,25 X_1 \cdot X_2$$

По уравнению регрессии были получены графические зависимости, представленные на рис. 5–7.

На основании проведенных экспериментов можно увидеть, что содержащиеся в композиции лигнин и карбамид, действуя совместно, усиливают друг друга, что подтверждается

30% от массы цемента требует водоцементного отношения 0,5, а при использовании карбамида в количестве 40% водоцементное отношение снижается до 0,4.

Далее был поставлен двухфакторный эксперимент и определена прочность бетона при одноосном сжатии при совместном действии двух факторов – гидролизного лигнина и карбамида (табл. 1, 2).

Математическое описание зависимости предела прочности при одноосном сжатии от варьируемых технологических параметров представлено в виде нормализованного уравнения регрессии:

увеличением прочности при сжатии в 1,5–1,7 раза. Результаты экспериментов подтверждают предположение о том, что полярные группы лигнина, взаимодействуя с гидроксильными кальция цемента, создают дополнительные сшивки, а карбамид, склонный к поликонденсации, улучшает пластичность бетона.

Таблица 1. Управляемые факторы и уровни их варьирования

Table 1. Controlled factors and levels of their variation

Наименование фактора	Кодовое обозначение	Нижний уровень	Основной уровень	Верхний уровень	Интервал варьирования
Содержание гидролизного лигнина в составе композиции (от массы портландцемента), %	X_1	30	40	50	10
Содержание карбамида в составе композиции (от массы портландцемента), %	X_2	20	30	40	10

Таблица 2. Матрица планирования и результаты экспериментальных исследований по В-плану второго порядка

Table 2. Planning matrix and results of experimental studies on the second-order B-plan

№ опыта	X ₁		X ₂		Y ₁ , прочность при одноосном сжатии, МПа
	В нормализованном выражении	В натуральном выражении	В нормализованном выражении	В натуральном выражении	
1	-1	30	-1	20	58
2	+1	50	-1	20	56
3	-1	30	+1	40	62
4	+1	50	+1	40	59
5	-1	30	0	30	68
6	+1	50	0	30	66
7	0	40	-1	20	65
8	0	40	+1	40	65

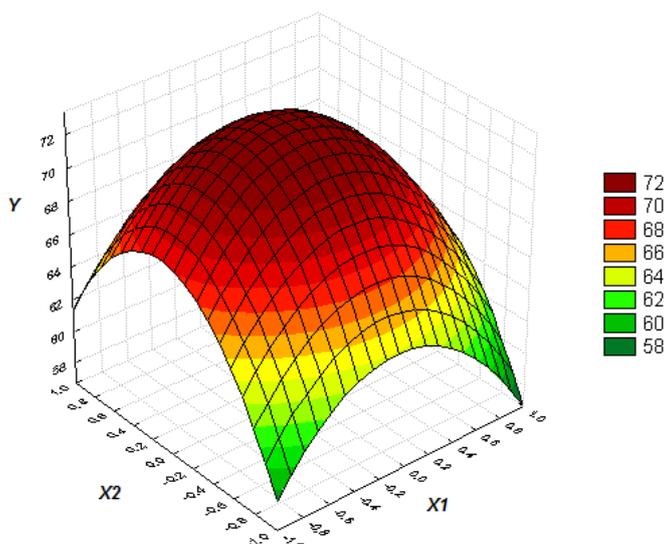


Рис. 5. Графическая зависимость прочности бетона при одноосном сжатии от варьируемых факторов: Y – прочность при одноосном сжатии, МПа; X₁ – содержание гидролизного лигнина в составе композиции (от массы ПЦ); X₂ – содержание карбамида в составе композиции (от массы ПЦ), %

Fig. 5. Graphical dependence of concrete strength at uniaxial compression from variable factors: Y – strength in uniaxial compression, MPa; X₁ – the content of hydrolysis lignin in the composition (based on the weight of the PC); X₂ – urea content in the composition (based on the weight of PC), %

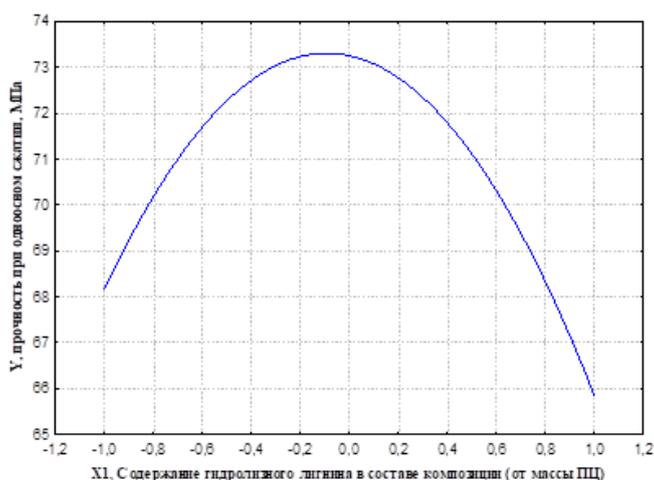


Рис. 6. Графическая зависимость прочности бетона при одноосном сжатии от доли гидролизного лигнина в составе композиции при содержании карбамида в составе композиции, равном 30%

Fig. 6. Graphical dependence of concrete strength at uniaxial compression on the proportion of hydrolysis lignin in composition with carbamide content in composition equal to 30%

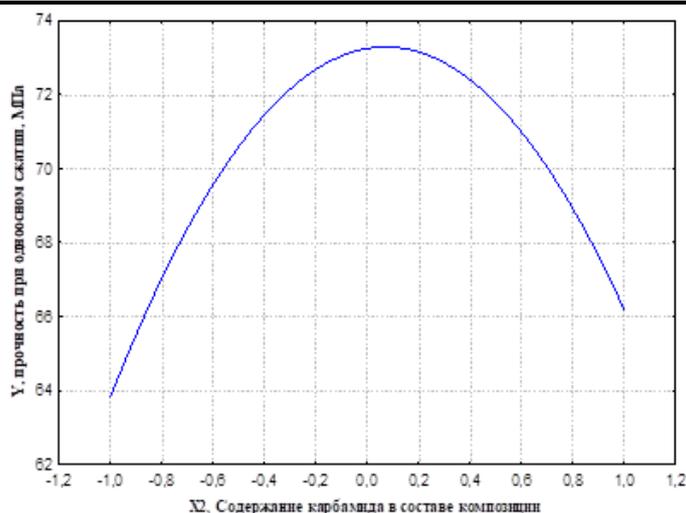


Рис. 7. Графическая зависимость прочности бетона при одноосном сжатии от доли карбамида в составе композиции при содержании лигнина в составе композиции, равном 40%
Fig. 7. Graphical dependence of concrete strength at uniaxial compression on the proportion of carbamide in composition with lignin content in composition equal to 40%

Заключение

Таким образом, в ходе исследования был определен химический состав отхода Канского биохимзавода – гидролизного лигнина – и проведены эксперименты по определению прочности бетона при одноосном сжатии, в зависимости от состава композиции, по результатам которых было установлено, что:

1) гидролизный лигнин является хорошим микронаполнителем цементного вяжущего. Он способствует упрочнению структуры вяжущего, и кроме того, благодаря высокопористому строению частиц, – улучшению свойств композиции, их химической стойкости и водостойкости;

2) гидролизный лигнин повышает прочность цементного вяжущего, усиливает коге-

зию композиционного материала и повышает водостойкость. Оптимальное количество лигнина в композиции – 40%;

3) карбамид также является хорошим модификатором бетонов, введение его в состав бетона в количестве 30% способствует увеличению прочности на сжатие на 20%;

4) совместное действие двух модификаторов способствует возникновению эффекта пластификации конструкционного композиционного строительного материала, так как карбамид способен конденсироваться (полимеризоваться), и кроме этого, происходит взаимодействие полярных групп лигнина с гидроксильными группами кальция с образованием дополнительных сшивков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крутов С.М., Ипатова Е.В., Косяков Д.С., Шкаева Н.В., Короткова Е.М., Пранович А.В. и др. Лигнопенополиуретаны на основе гидролизного лигнина // Журнал прикладной химии. 2016. Т. 89. № 1. С. 128–133.
2. Крутов С.М., Ипатова Е.В. Перспективы получения новых материалов на основе отходов биохимической переработки древесного сырья // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы научно-технической конференции (Санкт-Петербург, 13–15 апреля 2016 года). Санкт-Петербург, 2016. С. 207–209.
3. Федорова О.В., Аким Э.Л. Гидролизный и сульфатный лигнин, как перспективное сырье для биотоплива // Леса России: политика,

промышленность, наука, образование: материалы IV научно-технической конференции (Санкт-Петербург, 22–25 мая 2019 год). Санкт-Петербург, 2019. С. 325–327.

4. Шибаева Г.Н., Ибе Е.Е., Холдаенко Ю.А., Филимонова В.А. Теплоэффективные строительные материалы на основе полимерсиликатного вяжущего и гидролизного лигнина // Инновации в жизнь. 2017. № 3 (22). С. 162–172.

5. Dessbesell L., Leitch M., Pulkki R., Paleologou M., Xu C. Global lignin supply overview and kraft lignin potential as an alternative for petroleum-based polymers // Renewable and sustainable energy reviews. 2020. Vol. 123. p. 109768. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109768>.

6. Chio C., Qin W., Sain M. Lignin utilization: a review of lignin depolymerization from various aspects // *Renewable and sustainable energy reviews*. 2019. Vol. 107. p. 232–249. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.03.008>.
7. Bogdanovich N.I., Vorontsov K.B., Labudin B.V., Varenik K.A. Simulating the pyrolysis process of sludge – lignin with the production of active carbons // *IOP conference series: materials science and engineering*. 2020. Vol. 939. p. 012014. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/939/1/012014>.
8. Verevkin S.P., Konnova M.E., Turovtsev V.V., Riabchunova A.V., Pimerzin A.A. Weaving a network of reliable thermochemistry around lignin building blocks: methoxy-phenols and methoxybenzaldehydes // *Industrial and engineering chemistry research*. 2020. Vol. 59. № 52. p. 22626–22639. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.0c04281>.
9. Fux S.L., Devyaterikova S.V., Musikhina T.A. Geosorbent based on the combination of Kuznetsk-basin coal fly SSH with various kinds of lignin // *IOP conference series: earth and environmental science*. 2019. Vol. 272. p. 022053. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/272/2/022053>.
10. Плотникова Г.П., Плотников Н.П. Модификация связующего для использования некондиционного сырья в производстве древесностружечных плит // *Системы. Методы. Технологии*. 2013. № 2. С. 142–146.
11. Lee H., Feng X., Mastalerz M., Feakins S.J. Characterizing lignin: combining lignin phenol, methoxy quantification, and dual stable carbon and hydrogen isotopic techniques // *Organic geochemistry*. 2019. Vol. 136. p. 103894. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2019.07.003>.
12. Плотникова Г.П., Плотников Н.П., Кузьминых Е.А. Применение гидролизного лигнина в производстве древесно-полимерных композитов // *Системы. Методы. Технологии*. 2013. № 4. С. 133–138.
13. Плотников Н.П., Плотникова Г.П. Совершенствование технологии производства древесноплитных материалов: монография. Новосибирск: НП «СибАК», 2013. 112 с.
14. Ghorbani M., Liebner F., Van Herwijnen H.W.G., Pfungen L., Krahofer M., Budjav E., et al. Lignin phenol formaldehyde resoles: the impact of lignin type on adhesive properties // *Bioresources*. 2016. Vol. 11. № 3. p. 6727–6741. <https://doi.org/10.15376/biores.11.3.6727-6741>.

REFERENCES

1. Krutov SM, Ipatova EV, Kosyakov DS, Shkaeva NV, Korotkova EM, Pranovich AV, et al. Lignopolyurethane foam based on hydrolytic lignin. *Zhurnal prikladnoi khimii = Journal of Applied Chemistry*. 2016;89(1):128-133. (In Russ.).
2. Krutov SM, Ipatova EV. Prospects for obtaining new materials based on waste from biochemical processing of wood raw materials. *Perspektivy polucheniya novykh materialov na osnove otkhodov biokhimicheskoi pererabotki drevesnogo syr'ya* (St. Petersburg, 13–15 April 2016). St. Petersburg, 2016. p. 207-209. (In Russ.).
3. Fedorova OV, Akim EL. Hydrolysis and sulfate lignin, as promising raw materials for biofuels. *Les Rossii: politika, promyshlennost', nauka, obrazovanie: materialy IV nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* (St. Petersburg, 22–25 May 2019). St. Petersburg, 2019. p. 325-327. (In Russ.).
4. Shibaeva GN, Ibe EE, Kholdaenko YuA, Filimonova VA. Heat-efficient building materials based on polymer-silicate binder and hydrolytic lignin. *Innovatsii v zhizni = Innovations in life*. 2017;3(22):162-172. (In Russ.).
5. Dessbesell L, Leitch M, Pulkki R, Paleologou M, Xu C. Global lignin supply overview and kraft lignin potential as an alternative for petroleum-based polymers. *Renewable and sustainable energy reviews*. 2020;123:109768. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109768>.
6. Chio C, Qin W, Sain M. Lignin utilization: a review of lignin depolymerization from various aspects. *Renewable and sustainable energy reviews*. 2019;107:232-249. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.03.008>.
7. Bogdanovich NI, Vorontsov KB, Labudin BV, Varenik KA. Simulating the pyrolysis process of sludge – lignin with the production of active carbons. *IOP conference series: materials science and engineering*. 2020;939:012014. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/939/1/012014>.
8. Verevkin SP, Konnova ME, Turovtsev VV, Riabchunova AV, Pimerzin AA. Weaving a network of reliable thermochemistry around lignin building blocks: methoxy-phenols and methoxybenzaldehydes. *Industrial and engineering chemistry research*. 2020;59(52):22626-22639. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.0c04281>.
9. Fux SL, Devyaterikova SV, Musikhina TA. Geosorbent based on the combination of Kuznetsk-basin coal fly SSH with various kinds of lignin. *IOP conference series: earth and environmental science*. 2019;272:022053. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/272/2/022053>.
10. Plotnikova GP, Plotnikov NP. Modification of binder to use off-grade raw materials in chip-

board production. *Sistemy. Metody. Tekhnologii = Systems. Methods. Technology.* 2013;2:142-146. (In Russ.).

11. Lee H, Feng X, Mastalerz M, Feakins SJ. Characterizing lignin: combining lignin phenol, methoxy quantification, and dual stable carbon and hydrogen isotopic techniques. *Organic geochemistry.* 2019;136:103894. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2019.07.003>.

12. Plotnikova GP, Plotnikov NP, Kuzminykh EA. Use of hydrolized lignin in wood-polymer composites production. *Sistemy. Metody. Tekhnologii =*

Systems. Methods. Technology. 2013;4:133-138. (In Russ.).

13. Plotnikov NP, Plotnikova GP. Improving the technology for the production of wood-plate materials: monograph. Novosibirsk: NP SibAK; 2013. 112 p. (In Russ.).

14. Ghorbani M, Liebner F, Van Herwijnen HWG, Pfungen L, Krahofer M, Budjav E, et al. Lignin phenol formaldehyde resoles: the impact of lignin type on adhesive properties. *Bioresources.* 2016;11(3):6727-6741. <https://doi.org/10.15376/biores.11.3.6727-6741>.

Сведения об авторе

Плотникова Галина Павловна,
кандидат технических наук,
магистрант,
Братский государственный университет,
665709, г. Братск, ул. Макаренко, 40, Россия,
e-mail: galina.pavlovna.plotnikova@yandex.ru

Заявленный вклад автора

Плотникова Г. П. провела исследования, подготовила статью к публикации, владеет авторскими правами на статью и несет ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов относительно публикации данной статьи.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Статья поступила в редакцию 28.05.2021.
Одобрена после рецензирования 28.06.2021.
Принята к публикации 02.07.2021.

Information about the author

Galina P. Plotnikova,
Cand. Sci. (Eng.),
master's degree,
Bratsk State University,
40 Makarenko Str., Bratsk, 665709, Russia,
e-mail: galina.pavlovna.plotnikova@yandex.ru

Contribution of the author

Plotnikova G. P. has conducted the studies, prepared the article for publication, owns the copyright to the article and is responsible for plagiarism.

Conflict of interests

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

The author has read and approved the final manuscript.

The article was submitted 28.05.2021.
Approved after reviewing 28.06.2021.
Accepted for publication 02.07.2021.



Сравнительный анализ расчетных зависимостей для гидравлического расчета самотечных сетей водоотведения

© О. А. Продоус¹, Д. И. Шлычков²

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

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

Резюме: Цель работы заключается в проведении сравнительного анализа расчетных зависимостей – формул А. Шези и Н.Ф. Федорова – для гидравлического расчета самотечных сетей водоотведения. По данным формулам на конкретном примере был рассчитан гидравлический уклон самотечного трубопровода и определен процент расхождения значений фактических характеристик гидравлического потенциала труб. Полученные данные показали, что результаты расчетов по формуле А. Шези имеют наибольшую точность. Был уточнен внешний вид формулы А. Шези за счет введения понятия «приведенный внутренний диаметр труб». Построен график зависимости $i = f(d_{пр})$, свидетельствующий о том, что уточненный вариант расчетной формулы А. Шези, в сравнении с классическим, дает более точные результаты. Рекомендовано использовать уточненную формулу А. Шези для проведения гидравлического расчета самотечных сетей водоотведения. Предложено разработать расчетные таблицы для гидравлического расчета сетей водоотведения с внутренними отложениями.

Ключевые слова: внутренние отложения, расчетная зависимость, сети водоотведения, гидравлический расчет, слой отложений, гидравлический уклон

Для цитирования: 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. С. 462–469. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-462-469>.

Comparative analysis of empirical dependencies for hydraulic calculation of wastewater gravity flow network

Oleg A. Prodous, Dmitriy I. Shlychkov

INCO-Expert LLC, St. Petersburg, Russia

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

Abstract: In this work, we carried out a comparative analysis of empirical dependences (A. Chézy and N.F. Fedorov formulas) for the hydraulic calculation of wastewater gravity flow networks. Using these formulas on a specific example, the hydraulic slope of a gravity pipeline was calculated and the error in the values of the actual hydraulic potential characteristics of the pipes was determined. The data obtained showed that calculations using the Chézy formula ensure the highest accuracy. The A. Chézy formula was revised by introducing the concept of reduced pipe inner diameter. The dependency graph $i = f(d_{pr})$ was plotted, indicating that the revised version of the A. Chézy formula gives more accurate results than the classical one. The revised A. Chézy formula is recommended for the hydraulic calculation of wastewater gravity flow networks. We proposed developing calculation tables for the hydraulic calculation of wastewater drainage flow networks with internal deposits.

Keywords: internal sediments, calculated dependence, drainage networks, hydraulic calculation, sediment layer, hydraulic slope

For citation: Prodous O. A., Shlychkov D. I. Comparative analysis of empirical dependencies for hydraulic calculation of wastewater gravity flow network. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo*.

Введение

Режим движения сточных вод в действующих самотечных сетях водоотведения неравномерен, что обусловлено следующими причинами:

- изменением диаметров сети, местными сопротивлениями движению потока (повороты, тройники и др.);
- боковыми присоединениями и перепадами высотных отметок сети;
- просадками трассы и наличием крупных механических частиц (гравий, щебень, ветки деревьев и пр.);
- отложениями на внутренних стенках труб.

Основным требованием СП 32.130330.2012 «Канализация. Наружные сети и сооружения» является пропуск расчетных расходов q при самоочищающих скоростях движения транспортируемых сточных вод. То есть фактическая скорость самотечного потока V_{ϕ} должна быть всегда больше или равна V_{\min} :

$$V_{\phi} \geq V_{\min}.$$

Нарушение этого требования на практике приводит к образованию слоя отложений h в лотковой части труб (рис. 1), изменяющего значения фактических характеристик их гидравлического потенциала: $d_{\text{вн}}^{\phi}$, V_{ϕ} , i_{ϕ} .

Местные сопротивления и отложения на внутренних стенках труб оказывают основное и главное влияние на неравномерность самотечного потока сточных вод. Поэтому при гидравлическом расчете самотечных сетей водоотведения эти причины необходимо учитывать в первую очередь.

Методы

Так как расход q , перемещаемый самотеком по сетям водоотведения, не изменяется, $q = \text{const}$, то гидравлический расчет сетей водоотведения производится по формулам для равномерного движения сточных вод, работающих в квадратичной зоне сопротивлений.

Основных расчетных формул для гидравлического расчета труб – три:

1. Уравнение неразрывности потока:

$$q = \omega \cdot V, \quad \text{м}^3/\text{с},$$
$$V = \frac{q}{\omega} = \frac{4 \cdot q}{\pi \cdot d_{\text{вн}}^2}, \quad \text{м/с}, \quad (1)$$

где ω – площадь живого сечения, м^2 ,
 $\omega = \frac{\pi \cdot d_{\text{вн}}^2}{4}$; V – средняя скорость потока жидкости, м/с ; $d_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр труб, м .

2. Формула А. Шези:

$$V = C \sqrt{R \cdot i}, \quad \text{м/с}, \quad (2)$$

где C – коэффициент, учитывающий влияние шероховатости стенок труб, а также свойства и состав сточной жидкости (вязкость, наличие взвешенных частиц и др.); R – гидравлический радиус, м , $R = \frac{d_{\text{вн}}}{4}$; i – гидравлический уклон, мм/м (м/м).

3. Формула профессора Н.Ф. Федорова:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \text{Lg} \left(\frac{\Delta_3}{13,68R} + \frac{\alpha_2}{Re} \right), \quad (3)$$

где λ – коэффициент сопротивления; Δ_3 – эквивалентная абсолютная шероховатость стенок труб, м : $0,6 \leq \Delta_3 \leq 2 \text{ мм}$ [4]; R – гидравлический радиус, $R = \frac{d_{\text{вн}}}{4}$; α_2 – коэффициент, учитывающий характер шероховатости стенки трубы и структуру потока жидкости с взвесью, $70 \leq \alpha_2 \leq 100$ [4]; Re – число Рейнольдса, $Re = \frac{V \cdot d_{\text{вн}}}{\nu}$; ν – коэффициент кинематической вязкости, зависящий от температуры сточной жидкости, $\text{м}^2/\text{с}$.

Коэффициент C для квадратичной зоны $\lambda = f(Re)$ в формуле (2) называют коэффициентом А. Шези и определяют по формуле:

$$C = \frac{1}{n} \cdot R^y, \quad (4)$$

где y – переменная величина, зависящая от величины гидравлического радиуса R и значения коэффициента шероховатости n .

Согласно рекомендациям акад. Н.Н. Павловского, значение показателя степени y вычисляют по формуле [3]:

$$y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{R}(n - 0,10). \quad (5)$$

Для практических расчетов принимают

$$y \cong 1,5\sqrt{n}. \quad (6)$$

Тогда формула (4) принимает вид (формула Р. Маннинга):

$$C = \frac{R^{(1,5\sqrt{n})}}{n} = \frac{R^{1/6}}{n}, \quad (7)$$

где n – коэффициент шероховатости. Для практических расчетов принимают значения в диапазоне $n = 0,012 \div 0,014$.

В процессе эксплуатации сетей водоотведения в трубах из разных материалов, в зависимости от скорости потока V и состава сточных вод, возникают отложения в лотковой части труб, как показано на рис. 1.

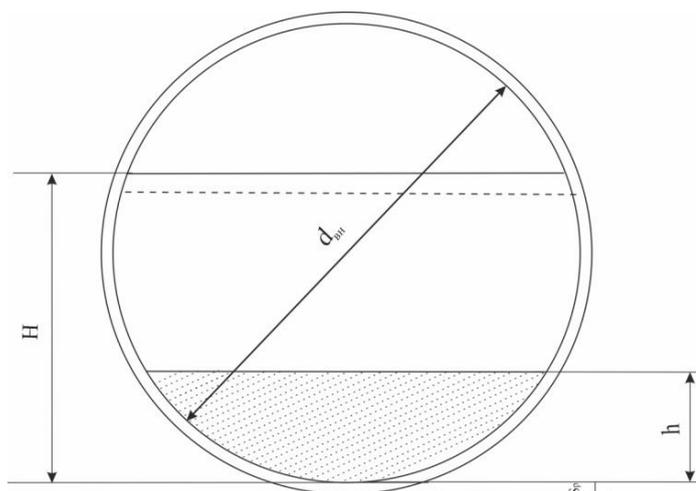


Рис. 1. Фрагмент отложений в лотковой части бетонных труб
Fig. 1. Fragment of sediments in the chute part of concrete pipes

Формулы (1), (2) и (3) не учитывают влияние толщины слоя отложений h на значение фактических характеристик гидравлического потенциала труб $d_{вн}^{\phi}$, V_{ϕ} , i_{ϕ} [5], поэтому требуется выбрать из трех формул одну, дающую наиболее точный результат при гидравлическом расчете. Произведем гидравлический расчет самотечной сети водоотведения (рис. 2) на конкретном примере.

Результаты и их обсуждение

Условия задачи

По самотечной сети водоотведения из бетонных труб (ГОСТ 20054-2016) диаметром $d_{вн} = 400$ мм (0,4 м) с толщиной стенки $S_p = 0,055$ м (рис. 1) транспортируется расход бытовых сточных вод $q = 0,15$ м³/с (150 л/с) с количеством взвешенных веществ $BV = 400$ мг/л. Температура сточных вод $t^{\circ} = 10^{\circ}$ С. Толщина слоя осадка в лотковой части трубы $h = 0,1$ м. Требуется рассчитать значения фактических характеристик гидравлического потенциала труб $d_{вн}^{\phi}$, V_{ϕ} , i_{ϕ} по трем формулам расчета (1), (2) и (3) и показать процент расхождения значений этих параметров.

Решение

Методика определения значений трех характеристик гидравлического потенциала труб следующая:

1. Определяем значение $d_{вн}$ для новой бетонной трубы (рис. 1):

$$d_{вн} = d_n - 2S_p = 0,511 - (2 \cdot 0,055) = 0,4 \text{ м}$$

и для трубы с толщиной слоя отложений $h = 0,1$ м:

$$d_{вн}^{\phi} = (d_n - 2S_p) - h = 0,4 - 0,1 = 0,3 \text{ м},$$

где $d_{вн}$ – внутренний диаметр трубы по ГОСТ, м; d_n – наружный диаметр трубы по ГОСТ, м; S_p – толщина стенки бетонной трубы по ГОСТ,

м; h – толщина слоя осадка по условиям задачи, $h = 0,1$ м.

2. Определяем по формуле (1) среднюю скорость самотечного потока V в новой трубе и в трубе с отложениями V_{ϕ} :

$$V = \frac{4 \cdot q}{\pi \cdot d_{вн}^2} = \frac{4 \cdot 0,15}{3,14 \cdot 0,4^2} = \frac{0,6}{0,5024} = 1,19, \text{ м/с};$$

$$V_{\phi} = \frac{4 \cdot q}{\pi \cdot (d_{вн}^{\phi})^2} = \frac{4 \cdot 0,15}{3,14 \cdot 0,3^2} = \frac{0,6}{0,2826} = 2,12,$$

м/с.

3. По формуле (8) рассчитываем значение коэффициентов гидравлического сопротивления λ для новой трубы и трубы со слоем отложений $h = 0,1$ м [1] и определяем по формуле Дарси – Вейсбаха значение гидравлического уклона i для новой бетонной трубы и трубы со слоем отложений $h = 0,1$ м:

$$i = \lambda \frac{V^2}{2g \cdot d_{вн}}, \text{ мм/м (м/м)},$$

$$i_{\phi} = \lambda_{отл} \frac{V_{\phi}^2}{2g \cdot d_{вн}^{\phi}}, \text{ мм/м (м/м)}. \quad (8)$$

При расчете гидравлического радиуса R в формуле (4) и площади живого сечения ω используются тригонометрические функции, в зависимости от степени наполнения $\frac{H}{d_{вн}}$.

Расчет производится по формуле [1]:

$$R = 0,25 d_{вн} \left(1 - \frac{\sin \varphi}{\varphi}\right), \quad (9)$$

где $d_{вн}$ – внутренний диаметр труб, м;

$$d_{вн} = d_n - 2S_p; \quad (10)$$

d_n – наружный диаметр труб по ГОСТ, м; S_p – толщина стенки трубы по ГОСТ, м; φ – угол между двумя хордами от центра трубы к поверхности отложений;

$$\omega = 0,125 d_{вн}^2 (\varphi - \sin \varphi), \text{ м}^2. \quad (11)$$

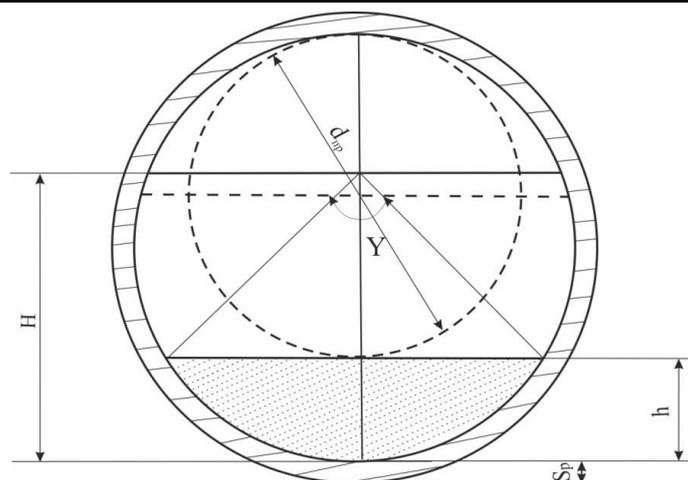


Рис. 2. Геометрические параметры потока в самотечных сетях водоотведения
Fig. 2. Geometric parameters of the flow in gravity drainage networks

В настоящее время существуют две методики гидравлического расчета самотечных сетей водоотведения.

Первая методика справедлива для области вполне шероховатого режима турбулентного потока жидкости.

Расчет производится по формуле А. Шези (4):

$$V = C\sqrt{R \cdot i}, \text{ м/с,}$$

где C – коэффициент А. Шези, определяемый по формуле Н.Н. Павловского [1]; R – гидравлический радиус, $R = \frac{d_{\text{вн}}}{4}$, м; i – гидравлический уклон лотка трубы, м/м (мм/м).

Вторая методика – расчет производителя по формуле Н.Ф. Федорова, справедливой для всех трех режимов турбулентного течения:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 Lg \left(\frac{\Delta_3}{13,68R} + \frac{\alpha_2}{Re} \right),$$

где λ – коэффициент гидравлического сопротивления; Δ_3 – коэффициент, зависящий от

шероховатости внутренней поверхности труб [2]; α_2 – коэффициент, зависящий от характера шероховатости труб, то есть от вида материала (бетон, стеклопластик и т.д.); $Re_\phi = \frac{V \cdot d_{\text{вн}}}{\nu}$ – число Рейнольдса; ν – коэффициент кинематической вязкости жидкости, зависящий от ее температуры, м²/с.

Обе методики гидравлического расчета труб связаны соотношением:

$$C = \left(\frac{8 \cdot g}{\lambda} \right)^{0,5}, \text{ или } C^2 = \frac{8 \cdot g}{\lambda}, \quad \lambda = \frac{8 \cdot g}{C^2},$$

$$C = \sqrt{\frac{8 \cdot g}{\lambda}}. \quad (12)$$

По условиям для приведенного примера произведем для сравнения гидравлический расчет труб по формуле (2) А. Шези и по формуле (3) Н.Ф. Федорова. Результаты расчета сведены в табл. 1.

Анализ значений i в табл. 1 показывает большую точность формулы А. Шези, в сравнении с расчетом по формуле Н.Ф. Федорова.

Таблица 1. Результаты расчетов
Table 1. Calculation results

Вид расчетной зависимости	Расчетные характеристики труб		
	C	λ	i , м/м
Формула А. Шези	65,15	0,01849	0,00286
Формула Н.Ф. Федорова	–	0,04759	000859

Процент расхождения значений i составляет 66,71 %, или в 3,0 раза. Поэтому основной расчетной зависимостью для гидравлического расчета труб без внутренних отложений является формула:

$$\lambda = \frac{8 \cdot g}{C^2}.$$

Аналогично данная формула используется в расчетах для труб с отложениями.

Для приведенного примера в табл. 2 представлены результаты расчетов значений характеристик труб при толщине слоя отложений $h = 0,1$ м.

Таблица 2. Результаты расчетов значений характеристик труб при толщине слоя отложений $h = 0,1$ м

Table 2. The results of calculating the values of pipe characteristics with a layer thickness of deposits $h = 0.1$ m

Вид расчетной зависимости	Значения расчетных характеристик труб		
	C	λ	i , м/м
Формула А. Шези (14)	99,60	0,00791	0,01126
Формула Н.Ф. Федорова (3)	–	0,03191	0,04541

Из табл. 2 также следует, что формула А. Шези (2) является более точной, чем формула Н.Ф. Федорова (3), так как значение $i = 0,01126$ м/м меньше значения $i = 0,04541$ м/м на 75,20%, или в 4,03 раза. При гидравлических расчетах самотечных сетей водоотведения следует всегда использовать более точную зависимость, учитывающую величину значений приведенного диаметра труб с отложениями $d_{пр}$, определяемую по формуле [6, 7]:

$$d_{пр} = \sqrt{d_{вн}^2 - [(d_{н} - 2S_p) - h]^2} = \sqrt{d_{вн}^2 - (d_{вн} - h)^2}, \text{ м.} \quad (13)$$

Зависимость (3) характеризует свободную площадь смоченного периметра трубы $\omega_{пр}$ между ее сводом и поверхностью труб с отложениями и повышает точность расчета характеристик самотечного потока в таких тру-

бах. На рис. 3 приведен график зависимостей $i = f(d, d_{пр})$. Из данного графика следует, что для условий приведенного примера значения гидравлического уклона i для новых труб существенно отличаются от значений $i_{пр}$ для труб с отложениями $h = 0,1$ м. В табл. 3 представлены значения характеристик, по которым построены графики на рис. 3 для новых труб: $d = 0,15, 0,20, 0,25, 0,30$ и $0,40$ м.

Уточненная авторами формула А. Шези (14), за счет введения понятия $d_{пр}$ формулой (13), приобретает вид:

$$i_{пр} = \frac{4 \cdot (V_{пр})^2}{C^2 \cdot d_{пр}}, \text{ м/м.} \quad (14)$$

Анализ значений i , представленных в табл. 3, показывает, что расчет значений i по уточненной авторами формуле (14) отличается от значений i по классической формуле (2) на 73,43 % или в 3,76 раза.

Таблица 3. Значения параметров труб по формулам А. Шези (8) и Н.Ф. Федорова (3)

Table 3. Values of pipe parameters according to the formulas of A. Shezy (8) and N.F. Fedorov (3)

Вид расчетной зависимости	Средние значения расчетных характеристик труб		
	C	λ	i , м/м
Формула А. Шези (8)	59,35	0,14943	1,18868
Формула Н.Ф. Федорова (3)	57,64	0,15382	0,31583

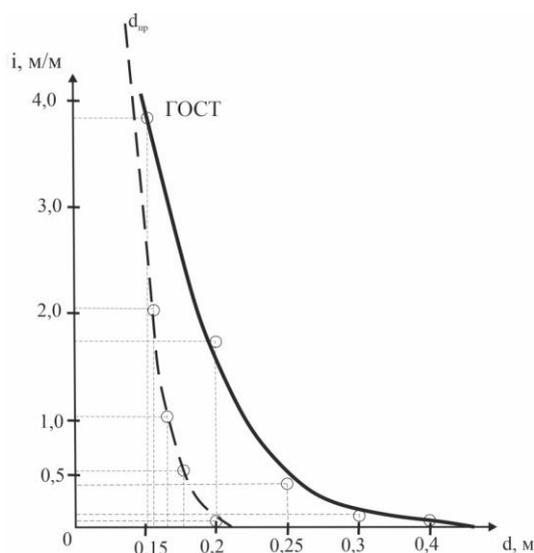


Рис. 3. График зависимостей $i = f(d, d_{пр})$

Fig. 3. Dependency graph $i = f(d, d_{пр})$

На рис. 3 представлены графики зависимости $i = f(d, d_{np})$, демонстрирующие расхождение значений i , подсчитанных по формулам (14) и (12).

Заключение

Таким образом, представленный в статье анализ расчетных зависимостей для гидравлического расчета самотечных сетей водоот-

ведения с внутренними отложениями позволяет рекомендовать для практического применения уточненную авторами формулу А. Шези (14), по которой следует разработать справочное пособие «Таблицы для гидравлического расчета самотечных сетей водоотведения с внутренними отложениями» [8–13].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бляшко Я.И. Использование канализационных стоков водоканалов напорно-самотечных водоводов и сбросов ТЭЦ для выработки электрической энергии // Главный энергетик. 2020. № 6. С. 35–44.
2. Воинцева И.И., Новиков М.Г., Продоус О.А. Продление периода эксплуатации трубопроводов систем водоснабжения из стальных и чугунных труб // Инженерные системы. 2019. № 1. С. 44–47.
3. Воинцева И.И., Нижник Т.Ю., Стрикаленко Т.В., Баранова А.И. Антикоррозионные свойства обеззараживающих реагентов на основе полигексаметиленгуанидина гидрохлорида // Вода: химия и экология. 2018. № 10–12 (117). С. 99–108.
4. Продоус О.А., Новиков М.Г., Самбурский Г.А., Шипилов А.А., Тереховт Л.Д., Якубчик П.П. и др. Рекомендации по реконструкции неновых металлических трубопроводов водоснабжения из стали и серого чугуна. СПб. – М.: Свое издательство, 2021. 40 с.
5. Продоус О.А. Зависимость продолжительности исследования металлических трубопроводов водоснабжения от толщины слоя отложений на внутренней поверхности труб // Сборник докладов XV Международной научно-технической конференции «Яковлевские чтения» (Москва, 19 марта 2020). М.: МИСИ – МГСУ, 2020. С. 113–117.
6. Продоус О.А. Методика оценки продолжительности использования металлических трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2021. № 1 (157). С. 4–10.
7. Продоус О.А., Шлычков Д.И. Об изменении значений гидравлических характеристик напорных канализационных коллекторов из стальных и чугунных труб с внутренними отложениями // Известия вузов. Строительство. 2020. № 12 (744). С. 70–77.
8. Орлов В.А. Энергосбережение как результат реконструкции водопроводных сетей бестраншейными методами // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования: сборник докладов Первой Национальной конференции (Москва, 30 сентября 2020 года). Москва, 2020. С. 866–870.
9. Чупин Р.В. Оптимизация развивающихся систем водоотведения: монография. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2015. 418 с.
10. Шевелев Ф.А., Шевелев А.Ф. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб. М.: Издательский Дом «Бастет», 2014. 382 с.
11. Шлычков Д.И. Проблемы технического состояния действующих трубопроводных систем // Инновации и инвестиции. 2020. № 4. С. 207–210.
12. Shlychkov D. Energy-saving as an integral part of technical and economic efficiency // Option. 2019. Vol. 35. № 24S. p. 1626–1636.
13. 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. p. 112445. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112445>.

REFERENCES

1. Blyashko YaI. Use of sewage effluents of water utilities, pressure-gravity water conduits and discharges of a thermal electric power plant to generate electrical energy. *Glavnyi energetik*. 2020;6:35-44. (In Russ.).
2. Vointseva II, Novikov MG, Prodous OA. Extension of the period of operation of pipelines of water supply systems made of steel and cast iron pipes. *Inzhenernye sistemy*. 2019;1:44-47. (In Russ.).
3. Vointseva II, Nizhnik TYu, Strikalenko TV, Baranova AI. Anticorrosive properties of disinfectant reagents based on polyhexamethylene guanidine hydrochloride. *Voda: khimiya i ekologiya*. 2018;10-12(117):99-108. (In Russ.).

4. Prodous OA, Novikov MG, Samburskiy GA, Shipilov AA, Terekhov LD, Yakubchik PP, et al. Recommendations for the reconstruction of new metal water supply pipelines made of steel and gray cast iron. St. Petersburg – Moscow: Own Publishing House; 2021. 40 p. (In Russ.).
5. Prodous O.A. Dependence of the duration of the study of metal water supply pipelines on the thickness of the sediment layer on the inner surface of the pipes. *Sbornik dokladov XV Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii «Yakovlevskie chteniya»* (Moscow, 19 March 2020). Moscow: IISS – MGSU Publ.; 2020. p. 113-117. (In Russ.).
6. Prodous OA. Methodology for assessing the continued use of metal pipelines in water supply and drainage systems. *Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodосnabzhenie*. 2021;1(157):4-10. (In Russ.).
7. Prodous OA, Shlychkov DI. On the change in the values of the hydraulic characteristics of pressure sewer headers made of steel and cast iron pipes with internal deposits. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo = News of higher educational institutions. Construction*. 2020;12(744):70-77. (In Russ.).
8. Orlov VA. Energy saving as a result of reconstruction of water supply networks by trenchless methods. *Aktual'nye problemy stroitel'noi otrasli i obrazovaniya: Sbornik dokladov Pervoi Natsional'noi konferentsii* (Moscow, 30 September 2020). Moscow, 2020. p. 866-870. (In Russ.).
9. Chupin RV. Optimization of developing drainage systems: monograph. Irkutsk: ISTU Publ.; 2015. 418 p. (In Russ.).
10. Shevelev FA, Shevelev AF. Tables for hydraulic calculation of water pipes. M.: Publ. House "Bastet"; 2014. 382 p. (In Russ.).
11. Shlychkov DI. Problems of technical condition of existing pipeline systems. *Innovatsii i investitsii*. 2020;4:207-210. (In Russ.).
12. Shlychkov D. Energy-saving as an integral part of technical and economic efficiency. *Opсion*. 2019;35(24S):1626-1636.
13. Schwermer CU, 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;288:112445. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112445>.

Сведения об авторах

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

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

Заявленный вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Information about the authors

Oleg I. Prodous,
Dr. Sci. (Eng.),
General Director,
INCO-Expert LLC,
37/1 Moskovsky pr-t, St. Petersburg, 190005,
Russia,
e-mail: pro@enco.su
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0389-3695>

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: ShlychkovDI@mgsu.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0210-2695>

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Статья поступила в редакцию 30.06.2021.
Одобрена после рецензирования 27.07.2021.
Принята к публикации 29.07.2021.

Conflict of interests

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

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

The article was submitted 30.06.2021.
Approved after reviewing 27.07.2021.
Accepted for publication 29.07.2021.



Зависимость коэффициентов прочностной и деформативной вариатропной эффективности центрифугированного бетона от зернового состава крупного заполнителя

Д. С. Черных¹, Д. А. Строев¹, А. А. Чернильник²,
Д. М. Ельшаева¹, Ю. В. Жеребцов¹, Н. А. Доценко¹

¹Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

²Ростовский государственный университет путей сообщения, г. Ростов-на-Дону, Россия

Резюме: На сегодняшний день одним из актуальных направлений в строительной отрасли является разработка и усовершенствование маломатериалоемких, энерго- и ресурсоемких технологий изготовления бетонных и железобетонных изделий и конструкций. В связи с этим технология центрифугирования является довольно перспективной. Целью настоящего исследования является поиск возможностей рецептурного регулирования вариатропной структуры бетона, а также создание способов оценки этой вариатропии, выраженной в качественном и количественном аспектах. Всего было изготовлено и испытано семь базовых образцов кольцевого сечения. По результатам испытаний опытных образцов центрифугированного бетона с различным зерновым составом крупного заполнителя были определены фактические значения интегральных и дифференциальных прочностных и деформативных характеристик бетона. Произведен расчет и анализ коэффициентов прочностной и деформативной вариатропной эффективности. Определен оптимальный зерновой состав крупного заполнителя, позволяющий получить центрифугированный бетон с усиленной вариатропией и, как следствие, наиболее эффективным коэффициентом вариатропной эффективности. Определена перспектива дальнейших исследований в направлении усиления вариатропии центрифугированных бетонных и железобетонных изделий и конструкций путем регулирования рецептурно-технологических факторов.

Ключевые слова: железобетонные изделия, центрифугированный бетон, вариатропия, прочностные характеристики, деформативные характеристики, зерновой состав

Для цитирования: Черных Д. С., Строев Д. А., Чернильник А. А., Ельшаева Д. М., Жеребцов Ю. В., Доценко Н. А. Зависимость коэффициентов прочностной и деформативной вариатропной эффективности центрифугированного бетона от зернового состава крупного заполнителя // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2021. Т. 11. № 3. С. 470–479. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-470-479>.

Dependence of structural and stress-strain variatropic efficiency coefficients of spun concrete on grain size composition of coarse aggregate

Dmitrii S. Chernykh, Dmitrii A. Stroeov, Andrei A. Chernil'nik, Diana M. El'shaeva,
Yuriy V. Zherebtsov, Natal'ya A. Dotsenko

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russia

Abstract: At present, developing and improving low-material, energy- and resource-intense technologies to manufacture concrete and reinforced concrete products and structures have become a topical issue in the construction industry. Therefore, centrifugation technology is promising. In this article, the formulation of concrete with variatropic structure was improved, and the methods for its qualitative and quantitative assessment were developed. Seven annular cross-section reference samples were manufactured and tested. Based on the test results of centrifuged concrete samples with different grain size compositions of the coarse aggregate, the empirical values of the integral and differential strength and deformation characteristics of concrete were determined. The structural and stress-strain variational efficiency coefficients were calculated and analysed. The optimal grain size composition of the coarse aggregate was determined and allows centrifuged concrete with an enhanced variatropy to be obtained,

as well as the most effective coefficient of variatropic efficiency. The prospects for further enhancing the variatropy of centrifuged and reinforced concrete products and structures by improving the formulation-technological factors were determined.

Keywords: reinforced concrete products, centrifuged concrete, variatropy, strength characteristics, deformation characteristics, grain size composition

For citation: Chernykh D. S., Stroev D. A., Chernil'nik A. A., El'shaeva D. M., Zherebtsov Yu. V., Dotsenko N. D. Dependence of structural and stress-strain variatropic efficiency coefficients of spun concrete on grain size composition of coarse aggregate. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost'* = *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2021;11(3):470-479. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-470-479>.

Введение

Получение строительных конструкций с использованием маломатериалоемких, энерго- и ресурсоемких технологий является одним из актуальнейших направлений строительной науки, что отражено в работах¹ [1–2].

В источниках² [2–6] исследовались прочностные и деформативные характеристики железобетонных изделий и конструкций при различных напряженно-деформированных состояниях. Также в работах [7–13] проводился анализ физико-механических свойств центрифугированного бетона в зависимости от технологических и рецептурных параметров.

Однако в научно-технической литературе недостаточно информации о влиянии различных рецептурных решений на вариатропию структуры бетона, получаемого центрифугированием [14].

Ранее в наших исследованиях были определены направления снижения материало-, ресурсо- и энергоемкости создания эффективных строительных конструкций.

В работах М.Г. Холодняка³ и [15–18] были получены результаты, доказавшие, что такое свойство центрифугированных и иных центробежно уплотненных бетонных и железобетонных конструкций кольцевого сечения, как вариатропия, является перспективным для развития научных школ железобетона в России и за рубежом.

Дело в том, что данное явление традиционно рассматривалось как отрицательное, снижающее прочность бетона и, как следствие, несущую способность получаемых железобетонных конструкций.

Однако нашими исследованиями было доказано, что при правильной постановке за-

дачи и умении правильно спрогнозировать и рассчитать вариатропию структуры, а при необходимости и усилить ее, можно добиваться высвобождения скрытых резервов несущей способности железобетонных изделий кольцевого сечения.

Такое сечение является удачным ввиду малой материалоемкости и, вследствие этого, облегченности и возможности применения таких конструкций в сложных инженерно-геологических условиях в городах и иных населенных пунктах, а также в рамках решения проблемы плотной городской застройки.

Таким образом, ранее были определены различия, имеющиеся между нормативными методами расчета и технологией создания вариатропных элементов кольцевого сечения, выполненных из железобетона, и предлагаемыми нами методиками расчета и технологией.

В связи с этим целью настоящего исследования является поиск возможностей рецептурного регулирования вариатропной структуры, а также создание способов оценки этой вариатропии, выраженной в качественном и количественном аспектах.

Задачами исследования являются:

– изучение вариантов варьирования фракционного состава крупного заполнителя из гранитного щебня для получения рациональной структуры вариатропной железобетонной колонны;

– оценка вариатропности при различных значениях рецептурно-технологических факторов, таких как фракционный состав крупного заполнителя.

Исследование включает в себя теоретическое обоснование и экспериментальные исследования с формулированием выводов

¹Дубинина В.Г. Разработка оптимальных параметров центрифугирования железобетонных безнапорных труб: дис. ... канд. техн. наук. Нижний Тагил, 2002. 150 с.

²Там же.

³Холодняк М.Г. Совершенствование расчета и технологии создания виброцентрифугированных железобетонных колонн с учетом вариатропии структуры: дис. ... канд. техн. наук. Ростов-на-Дону, 2020. 185 с.

по итогам полученных результатов.

Методы

При проведении исследований применялся бездобавочный портландцемент марки ПЦ 500 Д0, физико-механические характеристики которого представлены в табл. 1.

В качестве крупного заполнителя применялся гранитный щебень, физико-механические характеристики которого представлены в табл. 2. В качестве мелкого заполнителя – песок кварцевый, физические характеристики которого представлены в табл. 3.

Таблица 1. Физико-механические характеристики портландцемента ПЦ 500 Д0

Table 1. Physical and mechanical characteristics of Portland cement PC 500 D0

Наименование показателя	Фактическое значение
Предел прочности при сжатии в возрасте 28 суток, МПа	55,7
Сроки схватывания, мин	
– начало	165
– конец	260
Тонкость помола при проходе через сито № 008, %	97,8
Удельная поверхность, м ² /кг	380
Нормальная густота цементного теста, %	25,5

Таблица 2. Физико-механические характеристики щебня

Table 2. Physical and mechanical characteristics of crushed stone

Фракция	Насыпная плотность, кг/м ³	Истинная плотность, г/см ³	Дробимость, % по массе	Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм, % по массе	Пустотность, %
5-20	1430	2,66	11,4	9,5	46,2

Таблица 3. Физико-механические характеристики щебня

Table 3. Physical and mechanical characteristics of crushed stone

Зерновой состав							Проход через сито с сеткой № 0,16, % по массе	Модуль крупности	Содержание пылевидных и глинистых частиц, %	Истинная плотность, г/см ³	Насыпная плотность, кг/м ³
Размеры отверстий сит, мм											
Остатки на ситах		Частные и полные остатки на ситах, %					2,49	1,66	1,1	2,61	1438
10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16					
0	0	0,17	1,39	8,86	45,80	41,03	2,49				
		0,17	1,56	10,42	56,21	97,25	99,74				

Для изготовления центрифугированных образцов была применена экспериментальная лабораторная центрифуга, принципиальная схема данной установки и подробное описание представлены в работе М.Г. Холодняка⁴. Приготовление бетонной смеси осуществлялось в лабораторном бетоносмесителе принудительного действия.

Также для исследований нами были применены: испытательное оборудование (пресс гидравлический), средства измерения (линейка измерительная металлическая, весы лабораторные, прибор для измерения отклонений от плоскости НПЛ-1, прибор для измерения отклонений от перпендикулярности НПП-1).

Всего изготовлено и испытано семь базо-

вых образцов кольцевого сечения с размерами:

- внешний диаметр $D = 450$ мм;
- внутренний диаметр отверстия $d = 150$ мм;
- общая высота $H = 1200$ мм.

Методика изготовления опытных образцов для определения прочностных и деформативных интегральных (общих, усредненных по сечению), а также дифференциальных (различающихся по слоям сечения) характеристик бетона описана в работах⁵ [15–18].

Значения коэффициентов прочностной и деформативной вариативной эффективности рассчитывались по приведенным ниже формулам.

⁴Холодняк М.Г. Совершенствование расчета и технологии создания виброцентрифугированных железобетонных колонн с учетом вариативности структуры: дис. ... канд. техн. наук. Ростов-на-Дону, 2020. 185 с.

⁵Там же.

$$K_{R_{b,cub}} = \frac{\overline{R_{b,cub}} - R_{b,cub}}{R_{b,cub}}, \quad (1)$$

где $R_{b,cub}$ – кубиковая прочность при сжатии, МПа; $\overline{R_{b,cub}} = \frac{\sum R_{b,cub,i}}{n}$ – среднее значение при расчете дифференциальных характеристик, МПа, где i – номер слоя, n – количество слоев.

$$K_{R_b} = \frac{\overline{R_b} - R_b}{R_b}, \quad (2)$$

где R_b – призмная прочность при сжатии, МПа; $\overline{R_b} = \frac{\sum R_{b,i}}{n}$ – среднее значение при расчете дифференциальных характеристик, МПа, где i – номер слоя, n – количество слоев.

$$K_{R_{btb}} = \frac{\overline{R_{btb}} - R_{btb}}{R_{btb}}, \quad (3)$$

где R_{btb} – прочность на растяжение при изгибе, МПа, $\overline{R_{btb}} = \frac{\sum R_{btb,i}}{n}$ – среднее значение при расчете дифференциальных характеристик, МПа, где i – номер слоя, n – количество слоев.

$$K_{R_{bt}} = \frac{\overline{R_{bt}} - R_{bt}}{R_{bt}}, \quad (4)$$

где R_{bt} – прочность на осевое растяжение, МПа, $\overline{R_{bt}} = \frac{\sum R_{bt,i}}{n}$ – среднее значение при расчете дифференциальных характеристик, МПа, где i – номер слоя, n – количество слоев.

$$K_{\varepsilon_{bR}} = \frac{|\overline{\varepsilon_{bR}} - \varepsilon_{bR}|}{\overline{\varepsilon_{bR}}} \cdot 100, \% , \quad (5)$$

где ε_{bR} – предельные деформации при осевом сжатии, $\text{мм/м} \cdot 10^{-3}$; $\overline{\varepsilon_{bR}} = \frac{\sum \varepsilon_{bR,i}}{n}$ – среднее значение при расчете дифференциальных характеристик, $\text{мм/м} \cdot 10^{-3}$, где i – номер слоя, n – количество слоев.

$$K_{\varepsilon_{btR}} = \frac{|\overline{\varepsilon_{btR}} - \varepsilon_{btR}|}{\varepsilon_{btR}} \cdot 100, \% , \quad (6)$$

где ε_{btR} – предельные деформации при осевом растяжении, $\text{мм/м} \cdot 10^{-4}$; $\overline{\varepsilon_{btR}} = \frac{\sum \varepsilon_{btR,i}}{n}$ – среднее значение при расчете дифференциальных характеристик, $\text{мм/м} \cdot 10^{-4}$, где i – номер слоя, n – количество слоев.

$$K_{E_b=E_{bt}} = \frac{\overline{E_b = E_{bt}} - E_b = E_{bt}}{E_b = E_{bt}} \cdot 100\% , \quad (7)$$

где $E_b = E_{bt}$ – интегральный модуль упругости, ГПа; $\overline{E_b = E_{bt}} = \frac{\sum E_{b,i=E_{bt,i}}}{n}$ – среднее значение при расчете дифференциальных характеристик, ГПа, где i – номер слоя, n – количество слоев.

Результаты и их обсуждение

В качестве контрольного состава запроецирован тяжелый бетон класса В30, где зерновой состав крупного заполнителя представлен фракцией 10–20 мм.

Полученные в результате расчетов параметры состава бетонной смеси отражены в табл. 4. Результаты экспериментальных исследований влияния зернового состава крупного заполнителя на коэффициенты прочностной и деформативной вариатропной эффективности центрифугированного бетона представлены в табл. 5 и на рис. 1 и 2.

При приготовлении опытных замесов бетонных смесей с различной пропорцией содержания фракций крупного заполнителя расход цемента оставался неизменным. Расход воды корректировался до получения требуемой подвижности бетонной смеси.

В результате анализа полученных графических характеристик было установлено, что максимальные значения коэффициентов прочностной и деформативной вариатропной эффективности достигаются при применении крупного заполнителя со следующим зерновым составом: содержание фракции 5–10 составляет 40% от общего объема заполнителя, а содержание фракции 10–20 – 60%.

Таблица 4. Параметры состава бетонной смеси
Table 4. Concrete composition parameters

Наименование параметра	Значение параметра
Водоцементное отношение	0,38
Абсолютный объем цементного теста, л	319
Абсолютный объем заполнителей, л, при соотношении $r = \text{П/Щ} = 0,4$	1805
Расход цемента на 1 м^3 бетонной смеси, кг	400
Расход щебня на 1 м^3 бетонной смеси, кг	1290
Расход песка на 1 м^3 бетонной смеси, кг	515

Таблица 5. Результаты экспериментальных исследований влияния зернового состава крупного заполнителя на коэффициенты прочностной и деформативной вариатропной эффективности центрифугированных бетонов

Table 5. Results of experimental studies of the effect of the grain size composition of a large aggregate on the strength and deformation coefficients of the variatropic efficiency of centrifuged concretes

Характеристики опытных образцов		Зерновой состав крупного заполнителя, представленный различным содержанием фракций 5–10 и 10–20 относительно друг друга, %						
		0/100	20/80	40/60	50/50	60/40	80/20	100/0
$K_{R_{b,cub}}$	$R_{b,cub}$, МПа	57,8	59,1	65,2	62,7	61,2	56,1	58,9
	$\bar{R}_{b,cub}$, МПа	68,9	71,2	79,1	74,2	72,8	67,7	69,8
K_{R_b}	R_b , МПа	43,4	44,3	48,2	47,0	45,9	42,1	44,2
	\bar{R}_b , МПа	52,2	53,5	59,3	55,3	54,6	50,1	51,8
$K_{R_{btb}}$	R_{btb} , МПа	6,9	7,1	7,8	7,5	7,3	6,7	7,1
	\bar{R}_{btb} , МПа	8,3	8,8	9,9	8,9	8,8	8,1	8,4
$K_{R_{bt}}$	R_{bt} , МПа	4,0	4,1	4,6	4,4	4,3	3,9	4,1
	\bar{R}_{bt} , МПа	4,8	5,0	5,6	5,3	5,1	4,7	5,0
$K_{\varepsilon_{bR}}$	ε_{bR} , мм/м · 10 ⁻³	1,85	1,83	1,69	1,75	1,74	1,79	1,81
	$\bar{\varepsilon}_{bR}$, мм/м · 10 ⁻³	1,75	1,7	1,55	1,63	1,65	1,67	1,7
$K_{\varepsilon_{btR}}$	ε_{btR} , мм/м · 10 ⁻⁴	1,22	1,21	1,11	1,16	1,15	1,18	1,2
	$\bar{\varepsilon}_{btR}$, мм/м · 10 ⁻⁴	1,15	1,12	1,02	1,08	1,09	1,1	1,12
$K_{E_b=E_{bt}}$	$E_b = E_{bt}$, ГПа	35,7	36,1	39,3	37,7	38,1	1,2	36,5
	$\bar{E}_b = \bar{E}_{bt}$, ГПа	37,8	38,9	42,8	40,5	40,1	39,6	38,9

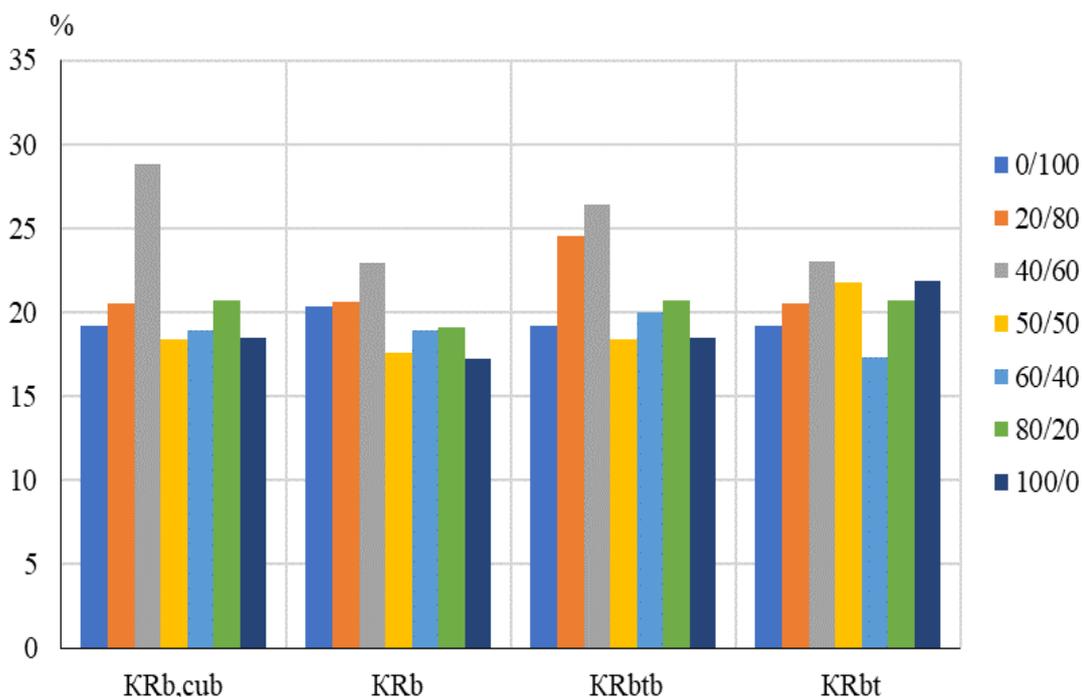


Рис. 1. Зависимость величин коэффициентов прочностной вариатропной эффективности центрифугированных бетонов от зернового состава крупного заполнителя

Fig. 1. Dependence of the values of the coefficients of the strength variatropic efficiency of centrifuged concretes on the grain size composition of the coarse aggregate

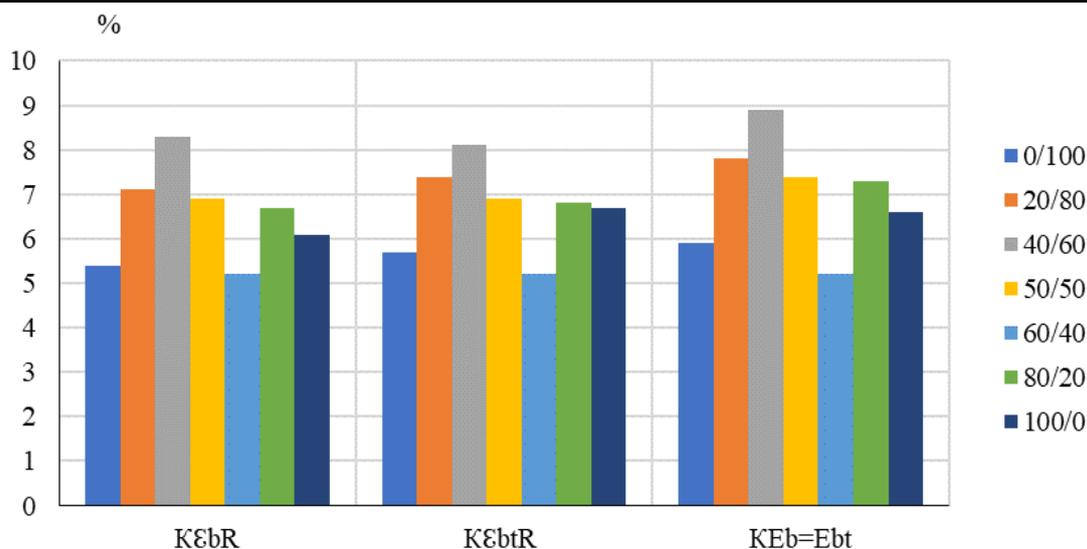


Рис. 2. Зависимость величин коэффициентов деформативной вариатропной эффективности центрифугированных бетонов от зернового состава крупного заполнителя
Fig. 2. Dependence of the values of the coefficients of the deformative variatropic efficiency of centrifuged concretes on the grain size composition of the coarse aggregate

Анализ дифференциальных прочностных и деформативных характеристик показал, что применение крупного заполнителя с данным зерновым составом позволяет добиться максимальной вариатропии. Так, разница между прочностными характеристиками внутреннего и среднего слоя составляет 23%, внутреннего и внешнего – 48%, среднего и внешнего – 17%.

Что касается деформативных характеристик и модуля упругости, разница между внутренним и средним слоем составляет 19%, между внутренним и внешним – 42%, а между средним и внешним – 23%.

Для контрольного состава разница между прочностными характеристиками внутреннего и среднего слоя центрифугированного бетона составляет 22%, внутреннего и внешнего – 31%, среднего и внешнего – 25%. Что касается деформативных характеристик и модуля упругости, то разница между внутренним и средним слоем составляет 21%, между внутренним и внешним – 34%, а между средним и внешним – 29%.

Закключение

В результате проведенных исследований сделаны следующие выводы. Зависимость коэффициента вариатропной эффективности

напрямую зависит от степени вариатропии. Как уже известно, вариатропия, возникающая вследствие центробежного уплотнения бетонной смеси, когда тяжелые фракции заполнителя и иные компоненты бетона мигрируют к внешней части элемента, а легкие фракции – к внутренней части, носит более положительный характер по сравнению с вариатропией при вибрировании, потому что все внешние слои по всему сечению элемента приобретают наиболее высокие прочностные характеристики бетона, который, как правило, и несет основную нагрузку на центрифугированные железобетонные элементы – чаще всего сжатые при таком виде уплотнения. Но даже в случае изгибаемых элементов такого рода вариатропия бетона по высоте его сечения не будет препятствовать или ухудшать их работу под нагрузкой.

Таким образом, дальнейшее регулирование рецептурных и технологических факторов при изготовлении центрифугированных изделий и конструкций позволит нам получать наиболее эффективные маломатериалоемкие конструкции кольцевого сечения с усиленной вариатропией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баженов Ю.М. Современная технология бетона // Технологии бетонов. 2005. № 1. С. 6–8.

2. Сулейманова Л.А. Высококачественные энергосберегающие и конкурентоспособные строительные материалы, изделия и конструк-

- ции // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2017. № 1. С. 9–16. <http://doi.org/10.12737/22637>.
3. Обернихин Д.В., Никулин А.И. Экспериментальные исследования деформативности изгибаемых железобетонных элементов различных поперечных сечений // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2017. № 4. С. 56–59. http://doi.org/10.12737/article_58e61337b86486.82545138.
4. Радайкин О.В. Сравнительный анализ различных диаграмм деформирования бетона по критерию энергозатрат на деформирование и разрушение // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 10. С. 29–39. http://doi.org/10.34031/article_5db33945315bb4.76965991.
5. Крючков А.А., Жданов А.Е. Подходы к оценке деформативности изгибаемых железобетонных элементов на основе итерационных методов расчета // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2017. № 1. С. 73–76. <http://doi.org/10.12737/23294>.
6. Щуцкий В.Л., Дедух Д.А., Гриценко М.Ю. Исследование физико-механических свойств центрифугированного бетона [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона. 2015. № 2-2. С. 24. URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_81_Shucki.pdf_4abcf9232c.pdf (02.08.2021).
7. Kim J-J., Yoo D-Y. Effects of fiber shape and distance on the pullout behavior of steel fibers embedded in ultra-high-performance concrete // *Cement and Concrete Composites*. 2019. Vol. 103. p. 213–223. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.05.006>.
8. Li K., Li L. Crack-altered durability properties and performance of structural concretes // *Cement and Concrete Research*. 2019. Vol. 124. p. 105811. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.105811>.
9. Kirthika S.K., Singh S.K. Durability studies on recycled fine aggregate concrete // *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 250. p. 118850. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118850>.
10. Jurowski K., Grzeszczyk S. Influence of Selected Factors on the Relationship between the Dynamic Elastic Modulus and Compressive Strength of Concrete // *Materials*. 2018. Vol. 11. p. 477. <https://doi.org/10.3390/ma11040477>.
11. Nesvetaev G., Lesniak E., Kolleganov A., Kolleganov N. On the Influence of Cross-Section and Reinforcement of Reinforced Concrete Constructions on the Concentration of Coarse Aggregate in Concrete with Frame Structure // *Materials Science Forum*. 2020. Vol. 1011. P. 66–71. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1011.66>.
12. Khalaf M.A., Ban C.C., Ramli M. The constituents, properties and application of heavy-weight concrete: A review // *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 215. P. 73–89. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.146>.
13. Maruyama I., Lura P. Properties of early-age concrete relevant to cracking in massive concrete // *Cement and Concrete Research*. 2019. Vol. 123. 105770. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.05.015>.
14. Королев А.С., Ворошилин А.А., Трофимов Б.Я. Повышение прочностных и теплоизоляционных свойств ячеистого бетона путем направленного формирования вариатропной структуры // *Строительные материалы*. 2005. № 5. С. 8–9.
15. Маилян Л.Р., Стельмах С.А., Холодник М.Г., Халюшев А.К., Щербань Е.М., Нажуев М.П. Рекомендации по учету вариатропии при расчете, проектировании и изготовлении центрифугированных конструкций из тяжелого бетона [Электронный ресурс] // *Вестник евразийской науки*. 2018. Т. 10. № 4. С. 6. URL: <https://esj.today/PDF/07SAVN418.pdf> (03.08.2021).
16. Stel'makh S.A., Shcherban E.M., Shuyskiy A.I., Nazhnev M.P. Theoretical and practical aspects of the formation of the variational structure of centrifuged products from heavy concrete // *Materials Science Forum*. 2018. Vol. 931. p. 502–507. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.931.502>.
17. Mailyan L.R., Stel'makh S.A., Shcherban' E.M., Khalyushev A.K., Smolyanichenko A.S., Sysoev A.K., et al. Investigation of integral and differential characteristics of variatropic structure heavy concretes by ultrasonic methods // *Applied Sciences (Switzerland)*. 2021. Vol. 11. № 8. p. 3591. <https://doi.org/10.3390/app11083591>.
18. Mailyan L.R., Stel'makh S.A., Shcherban E.M., Nazhnev M.P. Setting a diagram approach to calculating Vibrated, centrifuged and vibrocentrifuged reinforced concrete columns with a variatropic structure // *Russian Journal of Building Construction and Architecture*. 2021. № 1 (49). p. 30–44. <https://doi.org/10.36622/VSTU.2021.49.1.003>.

REFERENCES

1. Bazhenov YuM. Modern concrete technology. *Tekhnologii betonov = Concrete technology*. 2005;1:6-8. (In Russ.).
2. Suleimanova LA. High-quality energy-saving and competitive building materials, products and constructions. *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova = Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2017;1:9-16. (In Russ.). <http://doi.org/10.12737/22637>.
3. Obernihin DV, Nikulin AI. The experimental researches of the deformability of the bending reinforced concrete elements with the various cross sections. *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova = Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2017;4:56-59. (In Russ.). http://doi.org/10.12737/article_58e61337b86486.82545138.
4. Radaikin OV. Comparative analysis of various diagrams of concrete deformation according to the criterion of energy consumption for deformation and destruction. *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova = Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2019;10:29-39. (In Russ.). http://doi.org/10.34031/article_5db33945315bb4.76965991.
5. Kryuchkov AA, Zhdanov AE. Approach to an estimation deformability of bending concrete elements based on iterative calculation method. *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova = Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2017;1:73-76. (In Russ.). <http://doi.org/10.12737/23294>.
6. Shhuckij VL, Gritcentko MYu, Dedukh DA. Investigation of physical and mechanical properties of spun concrete. *Inzhenernyj vestnik Dona = Engineering journal of Don*. 2015;2:24. (In Russ.). Available from: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_81_Shucki.pdf_4abcf9232c.pdf [Accessed 02nd August 2021].
7. Kim J-J, Yoo D-Y. Effects of fiber shape and distance on the pullout behavior of steel fibers embedded in ultra-high-performance concrete. *Cement and Concrete Composites*. 2019;103:213-223. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.05.006>.
8. Li K, Li L. Crack-altered durability properties and performance of structural concretes. *Cement and Concrete Research*. 2019;124:105811. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.105811>.
9. Kirthika SK, Singh SK. Durability studies on recycled fine aggregate concrete. *Construction and Building Materials*. 2020;250:118850. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118850>.
10. Jurowski K, Grzeszczyk S. Influence of Selected Factors on the Relationship between the Dynamic Elastic Modulus and Compressive Strength of Concrete. *Materials*. 2018;11:477. <https://doi.org/10.3390/ma11040477>.
11. Nesvetaev G, Lesniak E, Kolleganov A, Kolleganov N. On the Influence of Cross-Section and Reinforcement of Reinforced Concrete Constructions on the Concentration of Coarse Aggregate in Concrete with Frame Structure. *Materials Science Forum*. 2020;1011:66-71. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.1011.66>.
12. Khalaf MA, Ban CC, Ramli M. The constituents, properties and application of heavyweight concrete: A review. *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 215. p. 73-89. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.146>.
13. Maruyama I, Lura P. Properties of early-age concrete relevant to cracking in massive concrete. *Cement and Concrete Research*. 2019;123:105770. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.05.015>.
14. Korolev AS, Voroshilin AA, Trofimov BYa. Increasing the strength and thermal insulation properties of aerated concrete by the directional formation of a variatropic structure. *Stroitel'nye materialy = Construction Materials*. 2005;5:8-9. (In Russ.).
15. Mailyan LR, Stel'makh SA, Kholodnyak MG, Khalyushev AK, Shcherban' EM, Nazhnev MP. Recommendations on accounting variatropy the calculation, design and manufacture of centrifuged structures of heavy concrete. *Vestnik evraziiskoi nauki = The Eurasian Scientific Journal*. 2018;10(4):6. (In Russ.). Available from: <https://esj.today/PDF/07SAVN418.pdf> [Accessed 03rd August 2021].
16. Stel'makh SA, Shcherban EM, Shuyskiy AI, Nazhnev MP. Theoretical and practical aspects of the formation of the variational structure of centrifuged products from heavy concrete. *Materials Science Forum*. 2018;931:502-507. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.931.502>.
17. Mailyan LR, Stel'makh SA, Shcherban' EM, Khalyushev AK, Smolyanichenko AS, Sysoev AK, et al. Investigation of integral and differential characteristics of variatropic structure heavy concretes by ultrasonic methods. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2021;11(8):3591. <https://doi.org/10.3390/app11083591>.
18. Mailyan LR, Stel'makh SA, Shcherban EM, Nazhnev MP. Setting a diagram approach to

calculating Vibrated, centrifuged and vibrocentrifuged reinforced concrete columns with a variotropic structure. *Russian Journal of Building*

Construction and Architecture. 2021;1(49):30-44. <https://doi.org/10.36622/VSTU.2021.49.1.003>.

Сведения об авторах

Information about the authors

Черных Дмитрий Сергеевич,

кандидат технических наук,
доцент кафедры автомобильных дорог,
Донской государственной технической
университет,
344022, г. Ростов-на-Дону,
ул. Социалистическая, 162, Россия,
e-mail: d.s.chernykh@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0503-7761>

Dmitrii S. Chernykh,

Cand. Sci (Eng.), Associate Professor
of the Department of Roads,
Don State Technical University,
162 Sotsialisticheskaya St., Rostov-on-Don,
344022, Russia,
e-mail: d.s.chernykh@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0503-7761>

Строев Дмитрий Александрович,

кандидат технических наук,
доцент кафедры автомобильных дорог,
Донской государственной технической
университет,
344022, г. Ростов-на-Дону,
ул. Социалистическая, 162, Россия,
e-mail: mr.stroev@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0557-9416>

Dmitrii A. Stroev,

Cand. Sci (Eng.), Associate Professor
of the Department of Roads,
Don State Technical University,
162 Sotsialisticheskaya St., Rostov-on-Don,
344022, Russia,
e-mail: mr.stroev@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0557-9416>

Чернильник Андрей Александрович,

аспирант,
Ростовский государственный университет
путей сообщения,
344038, Ростов-на-Дону, пл. Ростовского
Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2,
Россия,
e-mail: chernila_a@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0103-2587>

Andrei A. Chernil'nik,

Graduate student,
Rostov State Transport University,
2 Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo
Opolcheniya Sq., Rostov-on-Don, 344038,
Russia,
e-mail: chernila_a@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0103-2587>

Ельшаева Диана Михайловна,

магистрант,
Донской государственной технической
университет,
344022, г. Ростов-на-Дону,
ул. Социалистическая, 162, Россия,
e-mail: diana.elshaeva@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8086-6300>

Diana M. El'shaeva,

Undergraduate,
Don State Technical University,
162 Sotsialisticheskaya St., Rostov-on-Don,
344022, Russia,
e-mail: diana.elshaeva@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8086-6300>

Жеребцов Юрий Владимирович,

магистрант,
Донской государственной технической
университет,
344022, г. Ростов-на-Дону,
ул. Социалистическая, 162, Россия,
✉e-mail: yuri.zherebtsov@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6162-0049>

Yuriy V. Zherebtsov,

Undergraduate,
Don State Technical University,
162 Sotsialisticheskaya St., Rostov-on-Don,
344022, Russia,
✉e-mail: yuri.zherebtsov@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6162-0049>

Доценко Наталья Александровна,
магистрант,
Донской государственный технический
университет,
344022, г. Ростов-на-Дону,
ул. Социалистическая, 162, Россия,
e-mail: natalya_1998_dotsenko@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7829-6401>

Natal'ya A. Dotsenko,
Undergraduate,
Don State Technical University,
162 Sotsialisticheskaya St., Rostov-on-Don,
344022, Russia,
e-mail: natalya_1998_dotsenko@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7829-6401>

Заявленный вклад авторов

Черных Д. С., Строев Д. А., Чернильник А. А.,
Ельшаева Д. М., Жеребцов Ю. В., Доцен-
ко Н. А. имеют равные авторские права.
Жеребцов Ю. В. несет ответственность за
плагиат.

Contribution of the authors

Chernykh D. S., Stroeve D. A., Chernil'nik A. A.,
El'shaeva D. M., Zherebtsov Yu. V., Dotsen-
ko N. A. have equal author's rights.
Zherebtsov Yu. V. bears the responsibility for
plagiarism.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта ин-
тересов.

Conflict of interests

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

Статья поступила в редакцию 04.06.2021.
Одобрена после рецензирования 01.07.2021.
Принята к публикации 06.07.2021.

The article was submitted 04.06.2021
Approved after reviewing 01.07.2021.
Accepted for publication 06.07.2021.



Методика оценки последствий перехода на закрытую схему горячего водоснабжения в системах централизованного теплоснабжения

© С. В. Чичерин¹, С. В. Глухов², М. В. Глухова², А. К. Ильичева³, А. В. Жуйков⁴

¹Акционерное общество «Омские распределительные тепловые сети» (АО «Омск РТС»), г. Омск, Россия

²Омский государственный университет путей сообщения, г. Омск, Россия

³Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

⁴Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

Резюме: С 1 января 2022 года в России начнется переход на закрытую схему горячего водоснабжения в системах централизованного теплоснабжения. Цель исследования – предложить методику оценки последствий данного перехода. Алгоритм действий включает в себя: определение эксплуатационного удельного расхода сетевой воды на ГВС при неавтоматизированном непосредственном водоразборе при изменении температуры наружного воздуха; разработку необходимого режима закрытого ГВС; анализ фактически возможного режима неавтоматизированного потребления в системе теплоснабжения; определение эксплуатационного удельного расхода сетевой воды ГВС в неавтоматизированных системах ГВС при непосредственном водоразборе с учетом специфики работы источника теплоснабжения; расчет расхода сетевой воды на циркуляцию воды в неавтоматизированных системах ГВС; анализ гидравлического режима до и после перехода на закрытую схему; предложение рекомендаций. Применение методики оценки последствий перехода на закрытую схему ГВС в системах централизованного теплоснабжения показало, что на величину расхода подпиточной воды от теплового источника влияет изменение фактического потребления ГВС и температура холодной и горячей воды. На основании проведенного исследования можно заключить, что техническая возможность повсеместного перехода на закрытую схему отсутствует. Рекомендовано при проведении гидравлических расчетов для подготовки технических заключений и режимных карт опираться на фактические значения теплоснабжения; использовать показания приборов учета и учитывать значительную долю неавтоматизированных ГВС при расчете норматива потребления ГВС; учесть при формировании тарифа на теплоснабжение потери тепловой энергии на подогрев полотенцесушителей, внутрисетевые потери инженерных сетей жилого дома при четырехтрубной системе теплоснабжения.

Ключевые слова: тепловые сети, вода, температура, ГВС, расход, трубопровод, сетевая вода, нагрузка

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке Правительства Красноярского края, Красноярского краевого фонда поддержки научной и научно-технической деятельности.

Для цитирования: Чичерин С. В., Глухов С. В., Глухова М. В., Ильичева А. К., Жуйков А. В. Методика оценки последствий перехода на закрытую схему горячего водоснабжения в системах централизованного теплоснабжения // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2021. Т. 11. № 3. С. 480–491. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-480-491>.

Methodology for assessing the consequences of switching to a closed-circuit hot-water supply in district heating systems

Stanislav V. Chicherin, Sergey V. Glukhov, Mariya V. Glukhova,
Anna K. Ilicheva, Andrey V. Zhuikov,

Omsk Heat Distribution Networks (Omsk RTS), JSC, Omsk, Russia
Omsk State Transport University, Omsk, Russia
Omsk State Technical University, Omsk, Russia
Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Abstract: As of 1 January 2022, the transition to a closed-circuit hot-water supply in district heating systems will begin in Russia. This work proposes a methodology for assessing the consequences of this transition. The procedure is as follows: determining specific operational consumption of district water for hot water supply with manual direct water intake when the outside temperature changes; developing the required mode of closed hot-water supply; analysis of the practically possible mode of manual consumption in the heat supply system; determining the operational specific consumption of hot-water supply in manual hot water systems with direct water intake, including the characteristics of the heat supply source; calculating the flow rate of direct water for water circulation in manual hot water supply systems; analysing the hydraulic regime before and after the transition to a closed circuit; offering recommendations. The method for assessing the consequences associated with the transition to a closed-circuit hot-water supply in district heating systems showed that the amount of make-up water consumption from a heat source is affected by a change in the actual consumption of hot-water supply and the temperature of cold and hot water. Based on the research results, it can be concluded that there is no technical possibility of an overall transition to a closed circuit. To prepare technical reports and performance charts, it is recommended to use the actual values of heat consumption for the hydraulic calculations; to use the metered values and consider a significant number of manual hot-water supply systems in calculating the hot-water supply consumption standard; to include the loss of heat energy on heating towel rails, domestic losses of building services systems under a four-pipe heat supply system in the distribution pricing.

Keywords: network, water, temperature, DHW, flow rate, pipe, heat carrier, demand

Acknowledgments: The study was carried out with the financial support of the Government of the Krasnoyarsk region, the Krasnoyarsk Regional Fund for the Support of Scientific and Scientific and Technical Activities.

For citation: Chicherin S. V., Glukhov S. V., Glukhova M. V., Ilicheva A. K., Zhuykov A. V. Methodology for assessing the consequences of switching to a closed-circuit hot-water supply in district heating systems. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2021;11(3):480-491. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-480-491>.

Введение

В России, в соответствии со статьей 29 закона «О теплоснабжении», с 1 января 2022 года произойдет переход на закрытую схему горячего водоснабжения [1]. За рубежом активно развивается система централизованного теплоснабжения четвертого поколения, отличающаяся сниженными температурными графиками и возможностью утилизировать низкопотенциальное сбросное тепло техногенных источников, а за их счет производить нагрев воды для нужд отопления и горячего водоснабжения (ГВС) [2]. Повысить эффективность использования ископаемого топлива, снизить тепловые выбросы в окружающую среду и эмиссию вредных парниковых газов можно путем применения термотрансформаторов (ТТ) [3] или нетрадиционных и возобновляемых источников энергии (НВИЭ) [4]. Специфика использования НВИЭ состоит в неэффективности работы таких систем централизованного теплоснабжения с «нормальными» (95/70) и высокими температурными графиками (110/70 и выше) и сложности покрытия нагрузки ГВС при работе на общую сеть с традиционными тепловыми источниками [5]. За рубежом также исследуются

фактические величины теплотребления, например, Д. Ивэнко и др. [6] анализируют показания приборов учета и выделяют в общем массиве данных расход теплоносителя на нужды отопления и ГВС. Новизна настоящего исследования состоит в способе расчета и моделирования температур и расходов воды, пригодных для решения задачи оценки последствий перехода на закрытую схему горячего водоснабжения в системах централизованного теплоснабжения, но не ограничивающихся ее решением. В отличие от исследования Ж. Фито и др. [7], где акцент делается на методах математического моделирования, наша методика учитывает фактические показатели. Релевантно исследование М. Кристенсен и др. [8], где в качестве основных источников низкопотенциального сбросного тепла рассматриваются вторичные энергетические ресурсы [9], водооборотные системы в теплоэнергетике и промышленности и отходящие дымовые газы в котельных. В работе Х. Брэсс и др. [10] часовые графики решают похожую задачу получения более достоверных величин. Однако в перечисленных исследованиях не учитывается отечественная специфика: отсутствие и неисправность обору-

дования. Для нормальной работы системы ГВС по открытой схеме требуются: регулятор температуры, бак смешения и обратный клапан на трубопроводе из обратной линии. Все оборудование должно быть исправно и правильно настроено, в противном случае фиксируется перегрев обратной сетевой воды на выходе из индивидуального теплового пункта (ИТП). На качество ГВС напрямую оказывает влияние температура теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах, зависящая от выдерживания температурного графика и состояния тепловой изоляции. Для того чтобы это учесть, разработаны методы, которые позволяют более точно оценить тепловые потери [11] и не пользоваться нормативными величинами [12].

Вклад в науку состоит в оценке последствий для системы централизованного теплоснабжения (СЦТ) от перехода с открытой на закрытую схему ГВС с учетом эксплуатационных показателей. Актуальность настоящего исследования связана с тем, что доля открытых систем ГВС остается значительной, при этом многие из них являются неавтоматизированными [13]. Нормирование теплоснабжения в многоквартирных домах стало темой работ [14, 15]. Практическая значимость результатов исследования состоит в возможности актуализации нормативов потребления тепловой энергии и ГВС и обоснования совместной проверки соответствия нормативов нормативно-технической документации состоянию жилого фонда в условиях отказа от ЦТП и четырехтрубных тепловых сетей [16]. Научная новизна состоит в том, что, в отличие от работы [17], в данном исследовании рассматриваются удельные показатели и влияние соотношения водоразбора из подающего и обратного трубопроводов, а также перехода на закрытую схему на гидравлический режим.

Методы

При расчете открытых систем ГВС расход определяется следующим соотношением:

$$G_{звс.р.} = \frac{Q_{звс.}^{сп.} \cdot 1000}{C \cdot (t_{зв.} - t_{хв.})}, \text{ т/ч.} \quad (1)$$

В открытых системах теплоснабжения вода для горячего водоснабжения забирается или из подающей магистрали, или из обратной магистрали, или частично из подающей и частично из обратной линии тепловой сети с таким расчетом, чтобы была обеспечена требуемая температура смеси (см. уравнение (1)). Эквивалент суммарного расхода воды на горячее водоснабжение определяется по формулам:

$$\begin{aligned} &\text{при } t_2 \geq \tau_{o2} \\ W_2 &= Q_2 / (t_2 - t_x); \end{aligned} \quad (2)$$

при $t_2 \leq \tau_{o2}$

$$W_2 = Q_2 / (t_{o2} - t_x). \quad (3)$$

Расход воды на горячее водоснабжение из подающего трубопровода тепловой сети:

$$G_{н.звс.} = \beta \cdot G_{звс.р.}, \text{ т/ч,} \quad (4)$$

где β – доля расхода воды на ГВС из подающего трубопровода, определяемая по формуле:

$$\beta = (t_2 - \tau_{o2}) / (\tau_{o1} - \tau_{o2}), \quad (5)$$

где τ_{o1} , τ_{o2} , t_2 , t_x – температуры сетевой воды соответственно в подающей и обратной линиях горячей и холодной водопроводной воды.

Расход воды на горячее водоснабжение из обратного трубопровода тепловой сети:

$$G_{o.звс.} = (1 - \beta) \cdot G_{звс.р.}, \text{ т/ч.} \quad (6)$$

Чем выше температура воды в обратном трубопроводе, тем больше воды забирается из обратной линии и соответственно меньше из подающей. При температуре окружающего воздуха ниже температуры наружного воздуха, при которой осуществляется перевод водоразбора с одной линии на другую («точка перехода»), вся вода для ГВС должна отбираться только из обратной линии. Весь отопительный период можно разбить на два диапазона: с постоянной и с переменной температурами воды в подающей линии. Обычно применяется график центрального качественного регулирования, поэтому в диапазоне с постоянной температурой воды в подающей линии вся вода для ГВС отбирается из подающей линии: $\beta = 1$; $(1 - \beta) = 0$. В диапазоне с переменными температурами

воды в подающей линии по мере снижения t_H растёт $(1 - \beta)$ и уменьшается β . При некото-

рой температуре наружного воздуха $t_{н.2}$ температура воды в обратной линии становится равной t_2 , т.е. $\tau_{o2} = t_2$; в этом режиме $(1 - \beta) = 1$; $\beta = 0$. В диапазоне наружных температур $t_{н.2} - t_{н.0}$ весь водоразбор идет из обратной линии тепловой сети, т.е. $\beta = 0$.

При переходе на закрытую схему расчетный эквивалент расхода сетевой воды на подогреватель ГВС определяют по формуле:

$$W_2^p = Q_{звс.р.} / (\tau_{o1}''' - \tau_{o2}'''), \quad (7)$$

где $Q_{звс.р.}$ – расчетная нагрузка ГВС, в качестве которой при отсутствии бака-аккумулятора (подающее большинство в системе централизованного теплоснабжения г. Омска) должна приниматься максимальная нагрузка:

$$Q_{зв.р.} = Q_{зв.р.}^{max.}, \text{ Гкал/ч.} \quad (8)$$

При наличии баков аккумуляторов:

$$Q_{зв.р.} = Q_{зв.р.}^{cp.}, \text{ Гкал/ч,} \quad (9)$$

где $Q_{зв.р.}^{cp.}$ – величина средней тепловой нагрузки на ГВС, $Q_{зв.р.}^{max.}$ – величина максимальной тепловой нагрузки на ГВС, при отсутствии данных определяется по формуле:

$$Q_{зв.р.}^{max.} = \kappa \cdot Q_{зв.р.}^{cp.}, \text{ Гкал/ч,} \quad (10)$$

где κ – коэффициент часовой неравномерности (2–2,4 для жилых многоквартирных домов); τ_{01}''' , τ_{22}''' – температуры воды в подающей линии тепловой сети и после подогревателя при максимальной нагрузке горячего водоснабжения и наружной температуре $t_{н.н.}$. Таким образом, кратко рекомендуемую последовательность действий при оценке последствий перехода на закрытую схему ГВС в системах централизованного теплоснабжения можно представить в виде следующих шагов:

1. Определение эксплуатационного удельного расхода сетевой воды на ГВС при неавтоматизированном непосредственном водоразборе при изменении температуры наружного воздуха.
2. Оценка нормативных условий при неавтоматизированном непосредственном водоразборе.
3. Разработка необходимого режима закрытого водоразбора.

4. Анализ фактически возможного режима неавтоматизированного водоразбора в системе теплоснабжения.

5. Определение эксплуатационного удельного расхода сетевой воды ГВС в неавтоматизированных системах ГВС при непосредственном водоразборе с учетом специфики работы источника теплоснабжения.

6. Расчет расхода сетевой воды на циркуляцию воды в неавтоматизированных системах ГВС при непосредственном водоразборе.

7. Анализ гидравлического режима до и после.

8. Предложение рекомендаций.

Ситуационное исследование

Исследование выполнено на примере г. Омска. Система централизованного теплоснабжения города от тепловых источников – Кировской районной котельной (КРК), ТЭЦ-2, ТЭЦ-3, ТЭЦ-4 и ТЭЦ-5 – выполнена, в основном, по зависимой элеваторной схеме. В отопительный период ~50% тепловой нагрузки ГВС присоединено по закрытой схеме через водоподогреватели на ИТП и ЦТП. В летний период практически вся нагрузка (~90%) переводится на открытую схему с обеспечением ГВС по одному трубопроводу без циркуляции. Для оценки влияния детально исследовалось ответвление от магистрального трубопровода, обеспечивающее теплом 29 домов с общей тепловой нагрузкой 11,7 Гкал/ч (рис. 1).

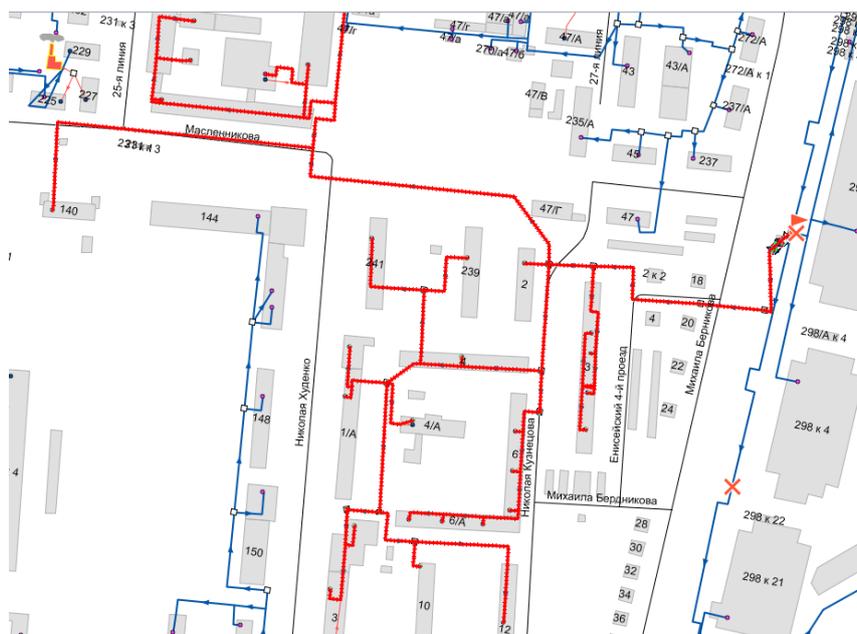


Рис. 1. Схема тепловых сетей объекта исследования в теплогидравлической модели ZuluThermo среды ГИС Zulu

Fig. 1. Layout of the DH networks within studied area modeled with the help of GIS Zulu software (ZuluThermo module)

Результаты и их обсуждение

Выбор температуры воды в подающей линии, при которой водоразбор переводится с одной линии на другую, ограничивается условиями безопасности пользования горячей водой, с одной стороны, и возможностью вообще использовать горячую воду – с другой. Компромиссом может являться такая темпе-

ратура наружного воздуха, при которой температура воды в подающей линии минимально бы превышала допустимую и соответствующая ей температура воды в обратной линии в наименьшей степени отличалась бы от нормативной. Для г. Омска была рассчитана данная температура (табл. 1).

Таблица 1. Анализ фактически возможного режима неавтоматизированного водоразбора в системе теплоснабжения при температуре точки перехода
Table 1. Analyzing actual conditions at buckling points. Temperatures for direct DHW consumption presented

Показатели / Indicators	ТЭЦ-2 / Heat-only boiler plant #2	ТЭЦ-3 / СНРР #3	ТЭЦ-4 / СНРР #4	ТЭЦ-5 / СНРР #5	КРК / Kirov heat-only boiler plant	В среднем по СЦТ / Average
Температура наружного воздуха / Outdoor temperature	– 7					
Фактическая температура воды в подающем трубопроводе / Actual supply temperature	86,6					
Оценочная температура воды в подающем трубопроводе / Assessed supply temperature	82,9	83,5	82,1	82,8	83,4	83,1
Оценочная температура воды в обратном трубопроводе / Assessed return temperature	51,7	51,3	50,1	51,1	50,8	51,2

Примечание: оценочные величины приняты согласно разделам 5.6 и 5.71¹.

Приведенные температуры заметно ниже аналогичных, показанных в исследовании Д. Ивэнко и др. [6], что связано с применяемым оборудованием и переходом на системы централизованного теплоснабжения четвертого поколения.

Например, в европейских системах диаметр головных участков, как правило, не превышает 300 мм [8], в рассматриваемом объекте исследования средний диаметр этих трубопроводов – 640 мм.

Режим регулирования отпуска тепла от теплоисточников ТЭЦ-5 и КРК г. Омска осуществляется по идентичному графику с расчетными температурами сетевой воды 150–70°C (со срезкой на 118°C), что значительно отличается от системы качественно-количественного регулирования, принятого в Западной Европе [7].

Согласно нормативной документации², с учетом возможного остывания теплоносителя на наиболее удаленном потребителе температуры следует принимать на 5°C ниже (табл. 2).

При этом по состоянию на переходный период отопительного сезона 2020–2021 г. имеет место практика завышения температуры теплоносителя в подающем трубопроводе в связи с большой протяженностью тепловых сетей и значительными тепловыми потерями. Так, по наименьшему теплоисточнику – КРК – суммарная максимальная подключенная нагрузка по воде – 719,941 Гкал/ч (нагрузка по пару отсутствует); общее количество тепловых камер – 185, в том числе: по первому лучу – 71, по второму – 43, по третьему – 26, по четвертому – 25, а также на теплотрассе «Заозерная» – 20.

Фактические тепловые потери через изоляцию по тепловым сетям составили более 189 тыс. Гкал, что не соответствует нормативному показателю.

При водоразборе только из подающей линии $\beta = 1$, а эксплуатационный удельный расход сетевой воды на горячее водоснабжение (т/Гкал) приведен в табл. 3.

¹РД 153-34.0-20.523-98. Методические указания по составлению энергетических характеристик для систем транспорта тепловой энергии: введ. 01.05.99. М., 1999.

²Там же.

Таблица 2. Средние значения температуры воды в системе ГВС при неавтоматизированном водоразборе
Table 2. Analyzing actual conditions at buckling points. Temperatures for direct DHW consumption presented

Показатель / Indicator	ТЭЦ-2 / Heat-only boiler plant #2	ТЭЦ-3 / СНРР #3	ТЭЦ-4 / СНРР #4	ТЭЦ-5 / СНРР #5	КРК / Kirov heat-only boiler plant	В среднем по СЦТ / Average
Температура ГВС при водоразборе только из подающей линии [°C] / DHW temperature, when water is extracted from the supply line [°C]	77,9	78,5	77,1	77,8	78,4	78,1
Температура ГВС при водоразборе только из обратной линии [°C] / DHW temperature, when water is extracted from the return line [°C]	46,7	46,3	45,1	46,1	45,8	46,2

Эксплуатационный удельный расход сетевой воды на 1 Гкал тепловой нагрузки потребителей с неавтоматизированным непосредственным водоразбором предлагается рассчитывать с учетом коэффициента, учитывающего необходимость увеличения расхода сетевой воды на системы отопления, покрывающего тепловые потери в системе ГВС и в

то же время обеспечивающего нормальный расход тепловой энергии на системы отопления (табл. 4).

Приведенные значения заметно ниже аналогичных, показанных в исследовании Х. Брэсс и др. [10], что объясняется отсутствием открытой схемы ГВС [18] и применяемыми температурными графиками [19].

Таблица 3. Расчет расхода сетевой воды на циркуляцию воды в неавтоматизированных системах ГВС при непосредственном водоразборе
Table 3. DH network flow rates for direct DHW consumption

Характерная температура наружного воздуха, °C / Outdoor temperature, °C	Оценочное среднее значение температуры ГВС, °C / Assessed average DHW temperature, °C	Удельный расход сетевой воды на горячее водоснабжение, т/Гкал / Specific flow rate to cover 1 Gcal of DHW heat demand	
		из подающего трубопровода / From the supply line	из обратного трубопровода / From the return line
Температура наружного воздуха, соответствующая началу и концу отопительного сезона / Outdoor temperature to start and finish space heating season	8,0	17,33	0
Температура наружного воздуха, соответствующая точке излома температурного графика / Outdoor temperature at buckling point	0,3	17,52	0
Точка перехода / Intermittent point	-7	13,72	0
Точка перехода / Intermittent point	-7	0	24,30
Промежуточная точка а) / Intermediate a-point	-17	0	19,38
Промежуточная точка б) / Intermediate b-point	-27	0	16,56
Расчетная температура наружного воздуха / Design outdoor temperature	-37	0	17,21

Таблица 4. Определение эксплуатационного удельного расхода сетевой воды ГВС в неавтоматизированных системах ГВС при непосредственном водоразборе
Table 4. Specific DHW flow rate when it is consumed directly

Показатели / Indicators	Эксплуатационный удельный расход сетевой воды на 1 Гкал тепловой нагрузки потребителей с неавтоматизированным непосредственным водоразбором, т/Гкал / Specific flow rate to cover 1 Gcal of heat demand with direct DHW-consumption, t/Gcal
ТЭЦ-2 / Heat-only boiler plant #2	16,386
ТЭЦ-3 / CHPP #3	15,819
ТЭЦ-4 / CHPP #4	14,821
ТЭЦ-5 / CHPP #5	15,261
КРК / Kirov heat-only boiler plant	15,051
В среднем по СЦТ / Average	15,472

В свою очередь, фактические потери сетевой воды за календарный год составили 1878,794 тыс. м³ при расчетном значении данного показателя 662,734 тыс. м³. При этом определяющее влияние на сверхнормативные потери сетевой воды (1212,060 тыс. м³) оказывают следующие факторы:

- утечки на тепловых сетях и системах теплоснабжения;
- потери сетевой воды, выявленные при несанкционированном водоразборе;
- потери сетевой воды с утечкой, не установленной по месту и количественно, а также ввиду неточности измерения ее объема из-за погрешности приборов учета на ТЭЦ или их отсутствия на подпиточной линии;
- сверхдоговорной разбор сетевой воды на ГВС;
- небаланс договорных и фактических нагрузок [20].

Снижению эксплуатационных расходов с целью обеспечения пропускной способности при переходе на закрытую схему также способствуют следующие ремонтно-профилактические работы:

- капитальный ремонт тепловых сетей с заменой ветхих трубопроводов;
- замена трубопроводов при устранении повреждений;
- ремонт сетевых насосов согласно плана графика;
- гидравлические испытания трубопроводов на прочность и плотность при давлении 16...20 кгс/см². В течение предыдущего отопительного сезона в г. Омске при эксплуатации оборудования и трубопроводов тепловых сетей выявлено и устранено 39 повреждений. При этом наметилась тенденция к снижению повреждаемости тепловых сетей.

Расчетные гидравлические режимы по отвлечению от магистральной тепловой сети, а также режимы работы задействованных при этом ИТП и участков тепловых сетей, представленных на рис. 1, определены по результатам теплогидравлических расчетов с использованием программы ZuluThermo³ среды ZuluGIS. На рис. 2 и 3 приведены значения среднесуточного часового расхода сетевой воды (при ГВС по открытой схеме с подающего трубопровода) и ниже даны значения среднесуточного часового расхода теплоносителя (при переводе ГВС на закрытую схему). Расчетные расходы воды определены при среднечасовой нагрузке ГВС по открытой схеме из подающего трубопровода с учетом увеличения расхода за счет снижения температуры сетевой воды в связи с тепловыми потерями (в расчет заложены нормативные тепловые потери). На рис. 3 был показан пьезометрический график на ГВС в закрытых системах при искусственно выровненной нагрузке горячего водоснабжения. При этом расчетный расход включает в себя расход подпиточной воды на ГВС, принятый при температуре 60 °С, и рассчитан с учетом данных бытовой организации о количестве фактически проживающих жителей, что несколько снижает расход на рис. 2 и неоднозначно влияет на расход на рис. 3 в связи с отсутствием достоверных данных. При расчете гидравлических потерь по трубопроводам и располагаемых напоров на тепловых узлах потребителей учитывались нормативные утечки в тепловых сетях, абонентских сетях и системах теплоснабжения, а гидравлический режим работы ответвления определен в результате оптимального распределения тепловых нагрузок между тепловыми потребителями и расходов теплоносителя по участкам тепловых сетей на расчетную температуру наружного воздуха.

³ZuluThermo – моделирование гидравлических режимов в тепловых сетях [Электронный ресурс] // Компания «Поли-терм». URL: <https://www.politerm.com/products/thermo/zuluthermo/> (14.07.2021).

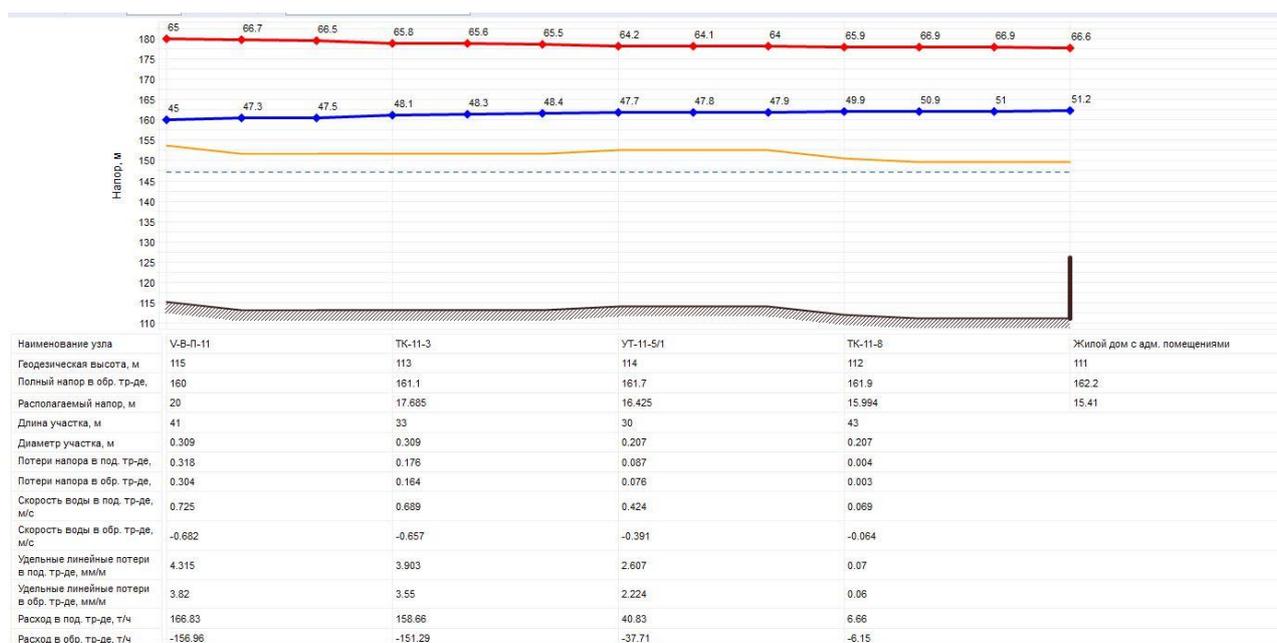


Рис. 2. Пьезометрический график внутриквартальных тепловых сетей, работающих согласно существующему гидравлическому режиму
Fig. 2. Pressure diagram, when DH system works 'as is'

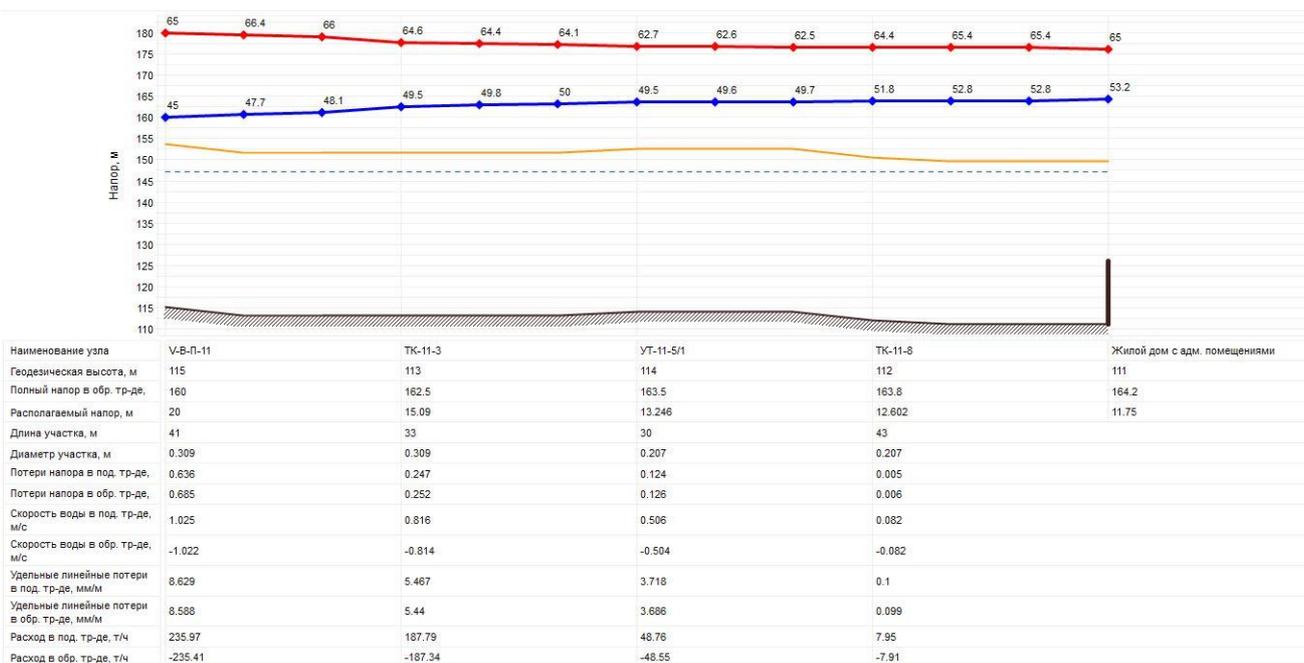


Рис. 3. Пьезометрический график внутриквартальных тепловых сетей после перехода на закрытую схему
Fig. 3. Pressure diagram in case of indirect DHW consumption scenario

Таким образом, снижение располагаемого напора составило 4 м вод. ст., его величина ниже минимально допустимых 15 м вод. ст., что требует дополнительных инвестиций на реконструкцию ИТП и перевода на автоматизированную схему или оставляет риски неудовлетворительного качества отопления в

зимний период. Высокая степень оснащённости ИТП средствами автоматического регулирования и оснащённость радиаторов регулирующими клапанами [2] упрощала бы переход на закрытую схему.

Кроме того, согласно Постановлению Мэра города Омска от 05.04.2005 №217-п «Об

обеспечении жителей города жилищно-коммунальными услугами», среднесуточные нормативы потребления тепловой энергии на горячее водоснабжение на одного человека для жилых домов с централизованным горячим водоснабжением, оборудованных ваннами, составляют 0,1519 Гкал и 3,51 м³ в месяц (120 литров горячей воды в сутки, приведенной к температуре 55°C с учетом отключения горячего водоснабжения в летний период на 14 суток). Для сравнения отметим также, что, по данным СНиП 2.04.01-85* «Внутренний водопровод и канализация зданий» (приложение 3), норма суточного расхода воды потребителями в жилых домах квартирного типа с ваннами длиной от 1500 до 1700 мм, оборудованными душами, составляет в среднем 250 л (в том числе 105 л горячей воды), а в сутки наибольшего водопотребления – 300 л (в том числе 120 л горячей воды), что и отражает результаты моделирования и позволяет говорить о достоверности математической модели.

Заключение

Результаты исследования фактических температур и расходов показывают, что техническая возможность повсеместного перехода на закрытую схему отсутствует. Ситуация усугубляется тем, что регуляторы температуры ГВС систем, присоединенных по открытой схеме, имеются не везде. Регулирование температуры осуществляется обслуживающим персоналом управляющих организаций путем переключения ГВС на подающий либо обратный трубопровод, либо с обоих трубопроводов путем смешивания в соответствующих бачках.

Методика оценки последствий перехода на закрытую схему ГВС в системах централизованного теплоснабжения показала, что на величину расхода подпиточной воды от теплового источника оказывают влияние многие факторы, что в систематизированном виде можно представить следующим образом:

– изменение фактического потребления ГВС (количество человек, особенности здания, дни недели, сезонность);

– температура холодной воды (в течение года меняется от 1 до 23°C);

– температура горячей воды (фактически при открытой схеме ГВС без регуляторов температура может меняться от 45 до 90...95°C).

На основании выполненного исследования даны следующие рекомендации:

– при проведении гидравлических расчетов для подготовки технических заключений и режимных карт опираться на фактические значения (при наличии) или расчетные значения с подстановкой фактических температур по формулам (1–5, 7);

– использовать показания приборов учета и учитывать значительную долю неавтоматизированных ГВС при расчете подогрева воды при расчете норматива потребления ГВС;

– теплоснабжающей организации обращаться в администрацию города для предоставления материалов расчета нормативов потребления тепловой энергии и ГВС и с предложением совместной проверки соответствия нормативов нормативно-технической документации состоянию жилого фонда, а также их изменения в случае выявленных несоответствий;

– подготовить материалы по обоснованию корректирующего коэффициента на сверхнормативные потери;

– установить терморегуляторы на системах ГВС в соответствии с правилами технической эксплуатации тепловых энергоустановок по графику;

– учесть при формировании тарифа потери тепловой энергии, возникающие при невыставлении величин (Гкал) на подогрев полотенцесушителей, на внутрисетевые потери инженерных сетей жилого дома при четырехтрубной системе теплоснабжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Липовка Ю.Л., Венин А.С., Михайлова А.С. Гидравлический режим тепловой сети при переходе с открытой на закрытую систему теплоснабжения // Энергосбережение и водоподготовка. 2019. № 6 (122). С. 53–56.
2. Guelpa E. Impact of thermal masses on the peak load in district heating systems // Energy. 2021. Vol. 214. p. 118849. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118849>.
3. Степанов К.И., Мухин Д.Г. Анализ эффективности абсорбционного бромистолитиевого тер-

мотрансформатора с двухступенчатой абсорбцией в составе газифицированных энергетических установок // Теплоэнергетика. 2021. № 1. С. 43–51.

4. Лежанин М.В. Внедрение солнечных коллекторов в систему горячего водоснабжения зданий в республике Саха (Якутия) // Энергетик. 2019. № 8. С. 22–25.

5. Chicherin S., Zhuikov A., Junussova L., Yelemanova A. Multiple-fuel District Heating System of a Transportation Facility: Water Performance-

based View // *Transportation Research Procedia*. 2021. Vol. 54. p. 31–38. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.02.044>.

6. Ivanko D., Sørensen Å.L., Nord N. Splitting measurements of the total heat demand in a hotel into domestic hot water and space heating heat use // *Energy*. 2021. Vol. 219. p. 119685. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119685>.

7. Fitó J., Hodencq S., Ramousse J., Wurtz F., Stutz B., Debray F., et al. Energy-and exergy-based optimal designs of a low-temperature industrial waste heat recovery system in district heating // *Energy Conversion and Management*. 2020. Vol. 211. p. 112753. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112753>.

8. Kristensen M.H., Hedegaard R.E., Petersen S. Long-term forecasting of hourly district heating loads in urban areas using hierarchical archetype modeling // *Energy*. 2020. Vol. 201. p. 117687. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117687>.

9. Алхасов А.Б., Алхасова Д.А. Комплексное использование низкопотенциальных термальных вод юга России для тепло-, водоснабжения и решения экологических проблем // *Теплоэнергетика*. 2019. № 5. С. 82–88. <https://doi.org/10.1134/S0040363619050011>.

10. Braas H., Jordan U., Best I., Orozaliev J., Vajen K. District heating load profiles for domestic hot water preparation with realistic simultaneity using DHWcalc and TRNSYS // *Energy*. 2020. Vol. 201. p. 117552. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117552>.

11. Chicherin S., Mašatin V., Siirde A., Volkova A. Method for Assessing Heat Loss in A District Heating Network with A Focus on the State of Insulation and Actual Demand for Useful Energy // *Energies*. 2020. Vol. 13. № 17. p. 4505. <https://doi.org/10.3390/en13174505>.

12. Zhuikov A.V., Kolosov M.V., Radzyuk A.Yu., Chicherin S.V. Research of energy efficiency of temperature control systems in buildings // *AIP Conference Proceedings*. 2021. Vol. 2337. № 1. p. 030014. <https://doi.org/10.1063/5.0046540>.

13. Самарин О.Д. Анализ надежного и безопасного теплоснабжения жилых зданий с использо-

ванием отработанной воды после подогревателей ГВС // *Надежность и безопасность энергетики*. 2020. Т. 13. № 1. С. 41–47. <https://doi.org/10.24223/1999-5555-2020-13-1-41-47>.

14. Ливчак В.И. О нормировании коммунальной услуги на горячее водоснабжение в многоквартирных домах // *Сантехника*. 2019. Т. 1. № 1. С. 32–39.

15. Ливчак В.И. Предложение к изменению норматива коммунальной услуги в тепловой энергии на горячее водоснабжение многоквартирных домов и гостиниц // *Сантехника*. 2019. № 2. С. 52–55.

16. Ваньков Ю.В., Запольская И.Н., Измайлова Е.В., Загретдинов А.Р., Плотникова Л.В. Снижение энергопотребления при переходе на горячее водоснабжение от индивидуальных тепловых пунктов // *Вестник Казанского государственного энергетического университета*. 2019. Т. 11. № 1. С. 19–27.

17. Ваньков Ю.В., Запольская И.Н., Гапоненко С.О., Мухаметова Л.Р. Повышение надежности транспортировки тепловой энергии до потребителей в условиях модернизации системы горячего водоснабжения // *Вестник Казанского государственного энергетического университета*. 2020. Т. 12. № 4. С. 29–37.

18. Wirtz M., Kivilip L., Remmen P., Müller D. 5th Generation District Heating: A novel design approach based on mathematical optimization // *Applied Energy*. 2020. Vol. 260. p. 114158. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114158>.

19. Volkova A., Krupenski I., Ledvanov A., Hlebnikov A., Lepiksaar K., Latšov E., et al. Energy cascade connection of a low-temperature district heating network to the return line of a high-temperature district heating network // *Energy*. 2020. Vol. 198. p. 117304. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117304>.

20. Farouq S., Byttner S., Bouguelia M.R., Nord N., Gadd H. Large-scale monitoring of operationally diverse district heating substations: A reference-group based approach // *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 2020. Vol. 90. p. 103492. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2020.103492>.

REFERENCES

1. Lipovka YuL, Venin AS, Mikhailova AS. Hydraulic mode of the heat network when transiting with open to closed heat supply system. *Energoberezhenie i vodopodgotovka*. 2019;6(122):53-56. (In Russ.).

2. Guelpa E. Impact of thermal masses on the peak load in district heating systems. *Energy*. 2021;214:118849. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118849>.

3. Stepanov KI, Mukhin DG. Analysis of the efficiency of an absorption lithium bromide thermo-transformer with two-stage absorption in the composition of gasified power plants. *Teploenergetika*. 2021;1:43-51. (In Russ.).

4. Lezhanin MV. Implementation of solar heaters in hot water supply system of buildings in Sakha republic (Yakutia). *Energetik*. 2019;8:22-25. (In Russ.).

5. Chicherin S, Zhuikov A, Junussova L, Yelemanova A. Multiple-fuel District Heating System of a Transportation Facility: Water Performance-based View. *Transportation Research Procedia*. 2021;54:31-38. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.02.044>.
6. Ivanko D, Sørensen AL, Nord N. Splitting measurements of the total heat demand in a hotel into domestic hot water and space heating heat use. *Energy*. 2021;219:119685. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119685>.
7. Fitó J, Hodencq S, Ramousse J, Wurtz F, Stutz B, Debray F, et al. Energy- and exergy-based optimal designs of a low-temperature industrial waste heat recovery system in district heating. *Energy Conversion and Management*. 2020;211:112753. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112753>.
8. Kristensen MH, Hedegaard RE, Petersen S. Long-term forecasting of hourly district heating loads in urban areas using hierarchical archetype modeling. *Energy*. 2020;201:117687. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117687>.
9. Alkhasov AB, Alkhasova DA. Comprehensive utilization of low-potential geothermal waters of southern Russia for heat and water supply and solution of environmental problems. *Teploenergetika*. 2019;5:82-88. (In Russ.). <https://doi.org/10.1134/S0040363619050011>.
10. Braas H, Jordan U, Best I, Orozaliev J, Vajen K. District heating load profiles for domestic hot water preparation with realistic simultaneity using DHWcalc and TRNSYS. *Energy*. 2020;201:117552. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117552>.
11. Chicherin S, Mašatin V, Siirde A, Volkova A. Method for Assessing Heat Loss in A District Heating Network with A Focus on the State of Insulation and Actual Demand for Useful Energy. *Energies*. 2020;13(17):4505. <https://doi.org/10.3390/en13174505>.
12. Zhuikov AV, Kolosov MV, Radzyuk AYu, Chicherin SV. Research of energy efficiency of temperature control systems in buildings. *AIP Conference Proceedings*. 2021;2337(1):030014. <https://doi.org/10.1063/5.0046540>.
13. Samarin OD. Analysis of reliable and safe heat supply of residential buildings using waste water after DHW heat exchangers. *Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Safety and Reliability of Power Industry*. 2020;13(1):41-47. <https://doi.org/10.24223/1999-5555-2020-13-1-41-47>. (In Russ.).
14. Livchak VI. On the rationing of utility services for hot water supply in apartment buildings. *Santekhnika*. 2019;1(1):32-39. (In Russ.).
15. Livchak VI. Proposal for changing the standard of communal services in thermal energy for hot water supply of apartment buildings and hotels. *Santekhnika*. 2019;2:52-55. (In Russ.).
16. Vankov YuV, Zapolskaya IN, Izmailova EV, Zagretdinov AR, Plotnikova LV. Energy consumption reduction during transition to hot water supply from individual thermal points. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta*. 2019;11(1):19-27. (In Russ.).
17. Vankov YuV, Zapolskaya IN, Gaponenko SO, Mukhametova LR. Improving the reliability of heat energy transportation to consumers in the context of the hot water supply system modernization. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta*. 2020;12(4):29-37. (In Russ.).
18. Wirtz M, Kivilip L, Remmen P, Müller D. 5th Generation District Heating: A novel design approach based on mathematical optimization. *Applied Energy*. 2020;260:114158. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114158>.
19. Volkova A, Krupenski I, Ledvanov A, Hlebnikov A, Lepiksaar K, Latōšov E, et al. Energy cascade connection of a low-temperature district heating network to the return line of a high-temperature district heating network. *Energy*. 2020;198:117304. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117304>.
20. Farouq S, Byttner S, Bouguelia MR, Nord N, Gadd H. Large-scale monitoring of operationally diverse district heating substations: A reference-group based approach. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 2020;90:103492. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2020.103492>.

Сведения об авторах

Чичерин Станислав Викторович, инженер структурного подразделения «Тепловые сети», АО «Омские распределительные тепловые сети» (АО «Омск РТС»), 644020, г. Омск, ул. Братская, 3а, Россия, ✉e-mail: man_csv@hotmail.com
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9359-9678>

Information about the authors

Stanislav V. Chicherin, Engineer, structural division “Heating networks”, Omsk Heat Distribution Networks (Omsk RTS), JSC, 3a Bratskaya Str., Omsk, 644020, Russia, ✉e-mail: man_csv@hotmail.com
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9359-9678>

Глухов Сергей Витальевич,
кандидат технических наук, доцент кафедры
теплоэнергетики,
Омский государственный университет путей
сообщения,
644046, г. Омск, пр. Маркса, 35, Россия,
e-mail: svgluk@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0245-4594>

Глухова Мария Викторовна,
кандидат технических наук, доцент кафедры
теплоэнергетики,
Омский государственный университет путей
сообщения,
644046, г. Омск, пр. Маркса, 35, Россия,
e-mail: svgluk@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5744-9998>

Ильичева Анна Константиновна,
магистрант,
Омский государственный технический
университет,
644050, г. Омск, пр. Мира, 11, Россия,
e-mail: man_csv@hotmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8985-5720>

Жуйков Андрей Владимирович,
кандидат технических наук,
заведующий учебно-научной лабораторией
кафедры теплотехники и гидрогазодинамики
Политехнического института,
Сибирский федеральный университет,
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79,
Россия,
e-mail: azhuikov@sfu-kras.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9809-8285>

Sergey V. Glukhov,
Cand. Sci (Eng.), Associate Professor
of the Department of Heat Power Engineering,
Omsk State Transport University,
35 Marx avenue, Omsk, 644046, Russia,
e-mail: svgluk@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0245-4594>

Mariya V. Glukhova,
Cand. Sci (Eng.), Associate Professor of the
Department of Heat Power Engineering,
Omsk State Transport University,
35 Marx avenue, Omsk, 644046, Russia,
e-mail: svgluk@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5744-9998>

Anna K. Ilicheva,
Master student,
Omsk State Technical University,
11 Mira avenue, Omsk, 644050, Russia,
e-mail: man_csv@hotmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8985-5720>

Andrey V. Zhuikov,
Cand. Sci. (Eng.), Head of the educational
and scientific laboratory of the Thermal
Engineering and Fluid and Gas Dynamics
of Polytechnic Institute,
Siberian Federal University,
79 Svobodny avenue, Krasnoyarsk, 660041,
Russia,
e-mail: azhuikov@sfu-kras.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9809-8285>

Заявленный 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.

Статья поступила в редакцию 28.05.2021.
Одобрена после рецензирования 23.06.2021.
Принята к публикации 25.06.2021.

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.

The article was submitted 28.05.2021.
Approved after reviewing 23.06.2021.
Accepted for publication 25.06.2021.



Оценка безопасности эксплуатации систем «теплый пол»

© И. Ю. Шелехов¹, К. Л. Кузнецов^{1,2}, Л. В. Рощупкина^{1,2}, К. Э. Чусикова¹

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

²Судебно-экспертное учреждение федеральной противопожарной службы «Испытательная пожарная лаборатория по Иркутской области», г. Иркутск, Россия

Резюме: Популярность систем «теплый пол» растет с каждым годом. Особое место среди этих систем занимают конструкции, созданные на основе пленочных нагревательных элементов, которые могут регулировать свое сопротивление в зависимости от температуры. Цель работы – изучить условия эксплуатации данных систем и разработать методику оценки степени их безопасности при различных условиях эксплуатации. На текущий момент для получения разрешения на использование систем «теплый пол» их исследуют стандартными методами. Применение новых технологий для оценки степени безопасности данных систем требует новых подходов, предполагающих максимальное приближение к реальным условиям эксплуатации. Авторами был изготовлен стенд с полимерным нагревательным элементом на теплоизолированном покрытии, который был закрыт линолеумом. Лабораторные исследования проводились прибором «ОВЕН» марки ТРМ 138, который фиксировал температуру по всему объему стенда. В результате исследования распределения температурных полей, которые фиксировались прибором при экстремальной эксплуатации системы «теплый пол», было показано, что при укрытии поверхности синтепоновым материалом и создании дополнительных механических воздействий создается опасная ситуация, которая может вызвать пожар. Также было установлено, что при недостаточной теплоотдаче происходит нарушение электрической изоляции, что может привести к поражению электрическим током. На текущий момент применение саморегулируемых полимерных нагревательных элементов должно осуществляться под дополнительным контролем, при исключении режима экстремальной эксплуатации. Проведенные эксперименты показали, что необходимо разрабатывать методические рекомендации для служб, которые монтируют и эксплуатируют подобные системы.

Ключевые слова: саморегулируемый нагреватель, система «теплый пол», надежность, пожароопасная ситуация, методика исследования, электрическое отопление

Для цитирования: Шелехов И. Ю., Кузнецов К. Л., Рощупкина Л. В., Чусикова К. Э. Оценка безопасности эксплуатации систем «теплый пол» // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2021. Т. 11. № 3. С. 492–499. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-492-499>.

Assessing safety of "underfloor heating" systems

Igor Yu. Shelekhov, Konstantin L. Kuznetsov, Liliya V. Roshchupkina,
Kristina E. Chusikova

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Forensic expert institution of the Federal Fire Service "Testing Fire Laboratory in the Irkutsk region",
Irkutsk, Russia

Abstract: Interest in underfloor heating systems has been increasing steadily. The structures based on film heating elements are of particular importance among these systems, as they can adjust their resistance depending on the temperature. In this paper, the operating conditions of underfloor heating systems are investigated, and a methodology for assessing their safety under various operating conditions is developed. Currently, in order to obtain licensing for the "underfloor heating" systems, they are examined by standard methods. Applying new technologies for assessing the safety of these systems requires novel approaches that imply conditions close to actual operation. The authors assembled a testing stand with a polymer heating element on a thermal insulation cover, closed with linoleum. Laboratory research was carried out using the TPM 138 "OVEN" device, which recorded the temperature

throughout the entire volume of the stand. The research results on the distribution of temperature fields recorded by the device during the extreme operation of the "underfloor heating" system are as follows. A dangerous situation is set, which can lead to a fire when the surface is covered with polyester batting material and exposed to additional mechanical stimuli. It was also found that, with insufficient heat transfer, electrical insulation was violated, leading to electric shock. Currently, self-regulating polymer heating elements should be used under additional control, avoiding extreme operation modes. Experiments demonstrated that it is necessary to develop guidelines for services, installation and operation of such systems.

Keywords: self-regulating heater, underfloor heating system, reliability, fire hazard situation, research methodology, electric heating

For citation: Shelekhov I. Yu., Kuznetsov K. L., Roshchupkina L. V., Chusikova K. E. Assessing safety of "underfloor heating" systems. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2021;11(3):492-499. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-492-499>.

Введение

Рассмотрим электрическую систему «теплый пол», созданную на основе пленочных нагревательных элементов. Данная система появилась в России благодаря корейским производителям и стала широко применяться в качестве локализованного источника тепловой энергии. Распространение систем «теплый пол» в нашей стране растет большими темпами, они используются в жилых и нежилых помещениях. Анализ научной литературы показал, что многие ученые считают данную систему отопления самой комфортной, имеющей наиболее благоприятную температуру для человеческого тела [1–5]. С помощью системы температурных датчиков и термостатов можно обеспечить зональное регулирование температуры по помещению, что позволяет сэкономить от 15 до 50% тепловой энергии. Пленочные нагревательные элементы легко масштабируются, их просто адаптировать к любым условиям эксплуатации. Целесообразность использования данных систем определяется стоимостью электрической энергии в конкретном регионе, например, Иркутской области. Впрочем, высокие тарифы, удаленность от стабильных источников электроэнер-

гии не являются препятствиями для их использования. За комфорт и удобство люди готовы платить, а с учетом того, что данные системы легко автоматизируются, в конечном итоге, их эксплуатация обходится не так и дорого [6]. Применение систем «теплый пол» осуществляется совместно с другими системами теплоснабжения, что должно учитываться при управлении ими [7–10].

Материал и методы

Основой пленочной системы «теплый пол» является полимерный нагревательный элемент с большой площадью теплопередачи. На рис. 1 представлен общий вид нагревательного элемента, который состоит из токоподводящих проводов (1), которые фиксируются на контактных площадках (2). Сам греющий слой изготавливается в виде параллельных полос из углерода (3), через медную шину (4) от контактной площадки напряжение подается на каждый греющий элемент. Основой нагревательного элемента является полиэтилентерефталатная (лавсановая) подложка (5), на которую наносятся маркеры (6), показывающие место разрыва греющего элемента или греющего сегмента.

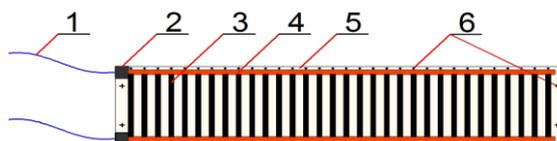


Рис. 1. Полимерный нагревательный элемент
Fig. 1. Polymer heating element

Большая площадь теплопередачи способствует равномерному нагреву помещения, автоматическое позионное регулирование позволяет обеспечивать подачу тепловой энергии в необходимом количестве в заданном про-

странстве в заданный промежуток времени. Стоимость автоматического электронного регулирования составляет значительную часть стоимости данных систем отопления, поэтому для снижения экономических затрат произво-

дители предлагают использовать нагревательные элементы с эффектом саморегуляции. Суть данного эффекта заключается в том, что греющий слой изготавливают из композиционных материалов, которые обеспечивают ему заданный термический коэффициент сопротивления (ТКС), причем современные технологии позволяют не только менять ТКС в широких пределах, но и задавать его в зависимости от теплотехнических характеристик внешней среды. Функция зависимости сопротивления от температуры может изменяться линейно или экспоненциально, а величина изменения может задаваться в зависимости от необходимости поддержания заданного интервала температур [11]. Это является одним из преимуществ использования пленочных саморегулируемых нагревательных элементов для систем теплых полов, которые могут обеспечить поддержание тепла без внешних регулирующих устройств и существенно сэкономить энергетические затраты [12].

За счет роста собственного сопротивления греющего слоя при увеличении температуры одновременно контролируется и регулируется локализованно каждый участок нагревательной системы, которая, как показано на рис. 1 маркерными точками, подставляет из себя группу параллельно подключенных нагревательных элементов. Нагревательные элементы, предназначенные для системы «теплый пол», представлены на рынке с шириной греющего слоя от 0,3 до 1,2 метров. С учетом того, что при такой ширине существует вероятность отличий в температурных условиях по длине греющего слоя (3), его также можно представить как группу последовательно соединенных нагревательных элементов, имеющих свое сопротивление. В соответствии с классическими законами физики, сила тока в любом участке цепи одинакова при последовательном соединении проводников, и до тех пор, пока участки цепи находятся в одинаковых условиях, падение напряжения на протяжении всего греющего слоя будет одинаково. Таким образом, будет происходить равномерный нагрев, зависящий от общего сопротивления проводника. Если температура одной части греющего слоя будет выше температуры другой части, то сопротивление более горячего участка будет выше сопротивления участка с меньшей температурой, соответ-

ственно, падение напряжения на более горячем участке будет выше, что обеспечит этому участку дополнительный нагрев. Данное явление может привести в дисбаланс греющую систему и создать аварийную ситуацию.

Целью нашего исследования является разработка методики оценки электрофизических и конструктивных свойств саморегулируемых нагревательных элементов, применяемых в системе «теплый пол», с помощью которой можно будет обеспечить надежную и безопасную эксплуатацию данной системы.

В соответствии с ГОСТ Р 52161.1-2004 (МЭК 60335-1:2001)¹, ГОСТ Р 52161.2.96-2006 (МЭК60335-2-96:2005)² часть 2.96, оценка степени надежности и долговечности саморегулируемых нагревательных элементов, предназначенных для системы «теплый пол», должна осуществляться в следующем порядке: нагревательный элемент должен быть накрыт матом из минеральной ваты с термическим сопротивлением не менее 1,45 м² К/Вт. Площадь покрытия должна быть шириной не менее 0,8 м и располагаться в средней части испытуемого образца. После того, как на нагревательный элемент подается напряжение, величина потребляемой мощности нагревательного элемента должна составлять величину 1,15 от номинальной мощности, подъем температуры контролируется на нагревательном элементе, на токоподводящих элементах. Во время испытаний нагревательный элемент не должен терять работоспособность и вызывать пожароопасную ситуацию.

По нашему мнению, данные испытания не могут дать полного представления о ситуации, которая может возникнуть во время эксплуатации нагревательных элементов. Методика оценки безопасности эксплуатации любого прибора должна не только показывать реальную картину его работы, но и помогать разработчикам, производителям, монтажникам и эксплуатационным службам создать те условия, при которых экстремальные ситуации не возникнут. Для оценки реальных условий эксплуатации был подготовлен экспериментальный стенд, состоящий из деревянного основания с уложенным сверху листом ДСП. На лист ДСП поочередно укладывались фольгированный теплоизолятор, полимерный нагревательный элемент южнокорейского производства «Calio» и линолеум.

¹ГОСТ Р 52161.1-2004 (МЭК 60335-1:2001). Безопасность бытовых и аналогичных электрических приборов. Часть 1. Общие требования. М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. 98 с.

²ГОСТ Р 52161.2.96-2006 (МЭК60335-2-96:2005). Безопасность бытовых и аналогичных электрических приборов. Часть 2.96. Частные требования для гибких листовых нагревательных элементов для обогрева жилых помещений. М.: Стандартинформ, 2007. 28 с.

Для имитации реальных условий эксплуатации теплого пола в быту на поверхность линолеума была оперта ножка табурета (имитирующая локальное давление мебели), сиденье табурета (имитирующее площадное давление мебели) и синтепоновое изделие (в качестве имитации подушки либо иного изделия, способного к накоплению теплоты) (рис. 2). Под каждым элементом и рядом с ним между линолеумом и теплым полом были проложены термопары, которые были подключены к прибору фирмы «ОВЕН» марки ТРМ138. Полимерный нагревательный элемент был подключен через терморегулирующее устройство

с ограничением температуры 60 °С, чувствительный элемент термодатчика был расположен под линолеумом в свободной зоне над нагревательным элементом.

Результаты и их обсуждение

Как видно из представленных на рис. 3 графиков, распределение температурных зон не однородно. Наибольший тепловой эффект наблюдается под синтепоновым изделием и у его границы, за 2 ч 15 мин эксперимента температура под ним повысилась до 100 °С, в то время как в других зонах, благодаря терморегулятору, температура составляла от 58 до 69 °С, и ее рост в них был значительно ниже.



Рис. 2. Экспериментальный стенд для оценки надежности системы «теплый пол»
Fig. 2. Experimental stand for assessing the reliability of the "underfloor heating" system

— Датчик 1.1/Sig/1.1 — Датчик 1.2/Sig/1.2 — Датчик 1.3/Sig/1.3 — Датчик 1.4/Sig/1.4 — Датчик 1.5/Sig/1.5 — Датчик 1.6/Sig/1.6
— Датчик 1.7/Sig/1.7 — Датчик 1.8/Sig/1.8 — Датчик 1.9/Sig/1.9 — Датчик 1.10/Sig/1.10 — Датчик 1.11/Sig/1.11 — Датчик 1.12/Sig/1.12

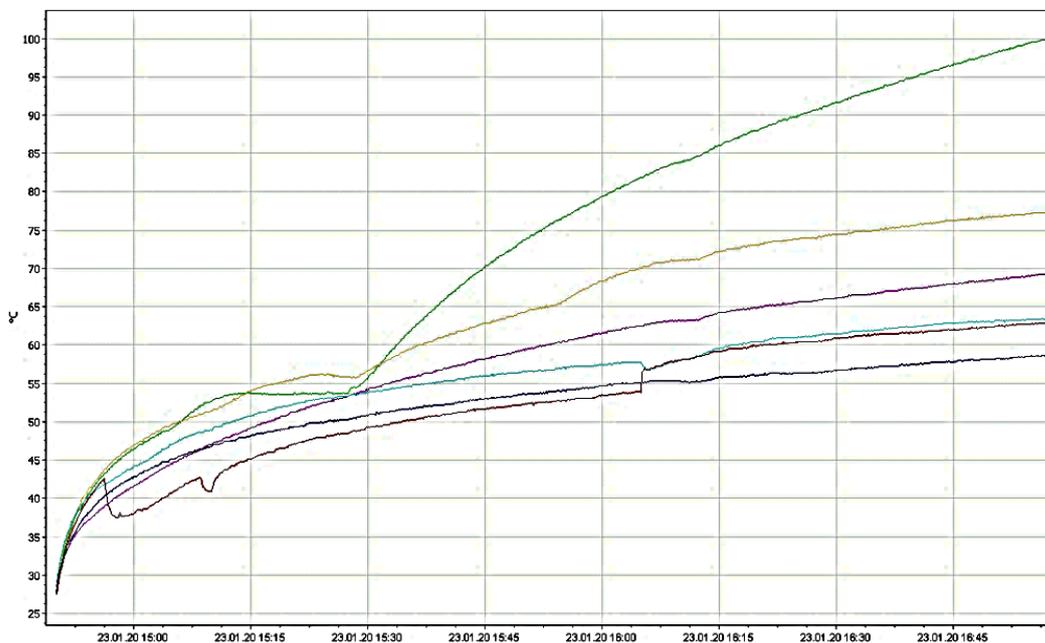


Рис. 3. Показания термопар:

1.2 – синтепоновое изделие; 1.3 – зона у границы синтепонового изделия; 1.4 – сиденье табурета; 1.5 – граница сиденья табурета; 1.6 – ножка табурета; 1.7 – граница ножки табурета

Fig. 3. Thermocouple readings:

1.2 – sintepon product; 1.3 – zone at the border of the sintepon product; 1.4 – stool seat; 1.5 – stool seat border; 1.6 – stool leg; 1.7 – stool leg border

После блокирования терморегулирующего устройства температура под синтепоновым изделием продолжила рост (рис. 4).

Через 7 часов эксперимента температура под синтепоновым изделием поднялась выше 120 °С, начал ощущаться специфический запах термораспада, эксперимент был прекращен. При этом следует отметить, что у границы зоны, покрытой линолеумом, температура поверхности пленочного теплого пола составляла около 50 °С.

В результате эксперимента было установлено, что из-за повышенных температур произошло оплавление фольгированного теплоизолятора (рис. 5), а достигнутой температуры вполне достаточно для разложения полимер-

ных элементов и создания пожароопасной ситуации. Из-за локализованного перегрева произошло проплавление ламинирующей пленки нагревательного элемента и фольгированного теплоизолятора (рис. 6). Кроме этого, необходимо отметить, что при оплавлении произошел лишь частичный разрыв полосы нагревательного элемента, электрическая цепь на данном участке не разомкнулась, соответственно, при нарушенной изоляции нагревательный элемент продолжал работать. При уменьшении сечения в результате частичного расплавления увеличилось сопротивление на данном участке, и, как следствие, возник повышенный тепловой эффект, обусловленный локальной токовой перегрузкой.

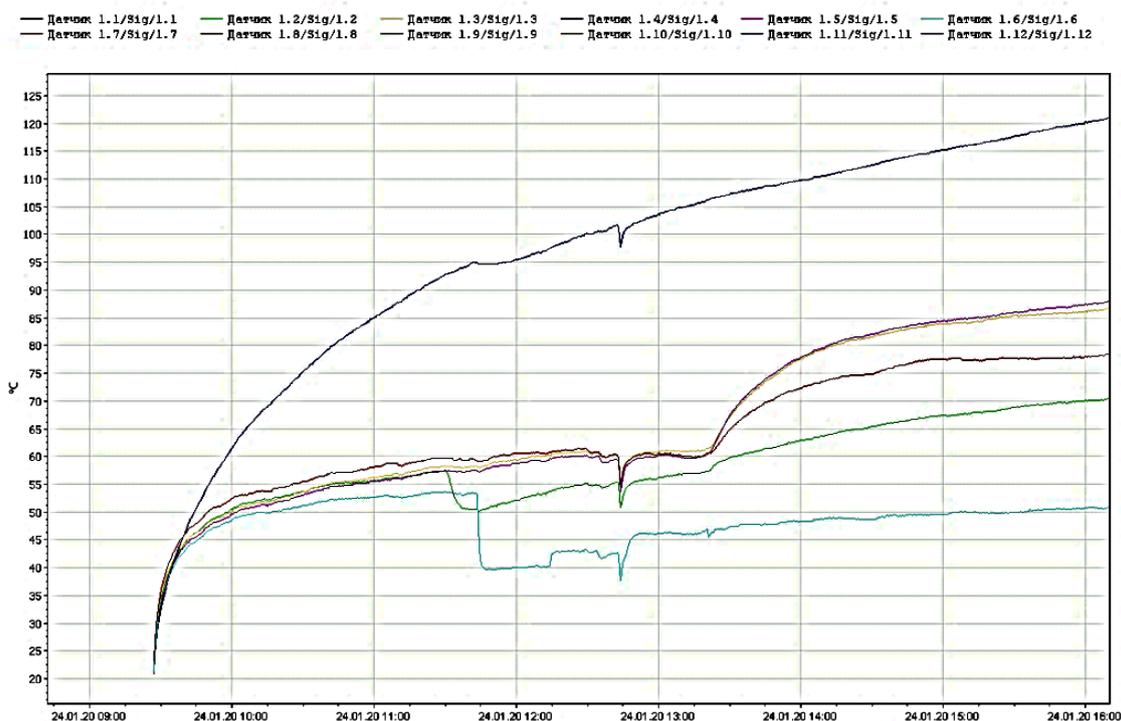


Рис. 4. Показания термодатчиков после блокирования терморегулирующего устройства: 1.2 – синтепоновое изделие; 1.3 – зона у границы синтепонового изделия; 1.4 – сиденье табурета; 1.5 – граница сиденья табурета; 1.6 – ножка табурета; 1.7 – граница ножки табурета

Fig. 4. Thermocouple readings after blocking the temperature control device: 1.2 – sintepon product; 1.3 – zone at the border of the sintepon product; 1.4 – stool seat; 1.5 – stool seat border; 1.6 – stool leg; 1.7 – stool leg border

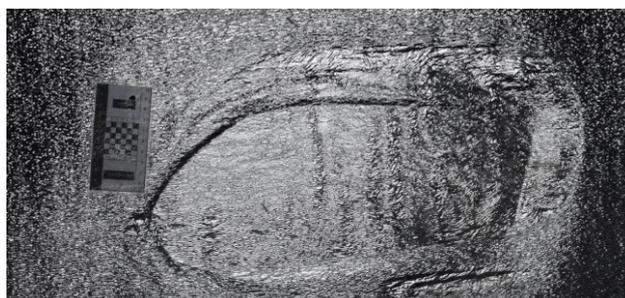


Рис. 5. Снимок расплавления фольгированного теплоизолятора
Fig. 5. A picture of the melting of the foil heat insulator



Рис. 6. Снимки локального расплавления ламинирующей пленки и нагревательного элемента, а также фольгированного теплоизолятора
Fig. 6. Images of local melting of the laminating film and the heating element, as well as the foil heat insulator

Заклучение

Представленная методика и проведенные эксперименты показали, что наиболее опасным является накрывание теплого пола материалом, способным к накоплению теплоты, при этом локальность данного воздействия практически исключает возможность отключения установки от командного сигнала термодатчика, и вероятность возникновения пожароопасной ситуации очень велика. Смоделированная ситуация опиралась на крайние факторы, был выбран один из самых широких типов нагревательных элементов, конструкция всей системы обладала малой теплоемкостью и теплопроводностью, что не давало возможности выйти в равновесное состояние. Кроме

этого, весь участок нагрева был лишен возможности естественной теплоотдачи в окружающую среду. Однако стоит учитывать, что жизненные ситуации могут быть разными, и никто не застрахован от возникновения одновременно всех неблагоприятных для эксплуатации теплого пола условий в одном месте и в одно время. Поэтому необходимо совершенствовать методики проведения экспериментов для обеспечения надежной и безопасной работы аналогичных систем. На основании проведенных экспериментов нужно разрабатывать методические рекомендации для тех, кто проектирует данные системы нагрева, производит их, монтирует и эксплуатирует.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Казаков Ю.Н., Новикова К.А., Макаридзе Г.Д. Оптимизация выбора и усовершенствование технологии устройства теплых полов // Вестник гражданских инженеров. 2020. № 2 (79). С. 109–116. <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2020-17-2-109-116>.
2. Белков И.Е., Савченков В.В. Сравнение эффективности систем отопления с теплым полом и радиаторами // ЭНЕРГИЯ-2018: Тринадцатая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых: в 6 томах. Том. 1. Теплоэнергетика (Иваново, 03–05 апреля 2018 года). Иваново: ИГЭУ им. В.И. Ленина, 2018. С. 64.
3. Маждидов Н.Н., Атамов А.А., Косимов Т.О. Особенности напольного отопления и систем теплых полов // Научное знание современности. 2017. № 3 (3). С. 203–207.
4. Шелехов И.Ю., Алтухов И.В., Очиров В.Д. Анализ использования саморегулируемых нагревательных элементов для систем «теплый пол» в сельской местности // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2021. № 2 (196). С. 113–120.
5. Ярков И.Д. Особенности проектирования теплых полов // Аллея науки. 2018. Т. 3. № 4 (20). С. 858–861.
6. Шелехов И.Ю., Янченко В.А. Особенности применения системы «теплый пол» в условиях Сибири // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2011. № 12. С. 156–159.
7. Pukhkal V., Taurit V. The study of compact convective stream formed by use of recessed floor convection heaters with natural air circulation // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2017. Vol. 692. p. 379–390. https://doi.org/10.1007/978-3-319-70987-1_40.
8. Pukhkal V. The study of flat convective stream formed by use of recessed flood convection heaters with natural air circulation in high height rooms with continuous glassing // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2017. Vol. 692. p. 512–519. https://doi.org/10.1007/978-3-319-70987-1_54.
9. Труфанова Н.М., Салаватов В.Э. Влияние различных условий обогрева на температурное поле в жилой комнате // Научно-технический вестник Поволжья. 2017. № 4. С. 208–211. <https://doi.org/10.24153/2079-5920-2017-7-4-208-211>.

10. Wang Q., Ploskic A., Holmberg S. Ventilation heat recovery jointed low-temperature heating in retrofitting—An investigation of energy conservation, environmental impacts and indoor air quality in Swedish multifamily houses // *Journal of Energy and Buildings*. 2016. Vol. 121. p. 250–264. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.02.050>.
 11. Псарева Д.В. Особенности применения саморегулируемого кабеля в системе теплый пол

// *Инновации, технологии и бизнес*. 2018. № 1 (4). С. 60–66.
 12. Лезгина А.С., Коренькова Г.В. Теплый пол в жилых помещениях: конструкция, достоинства // *Проблемы и перспективы развития России: Молодежный взгляд в будущее: сборник научных статей Всероссийской научной конференции: в 4 т. Т. 3* (Курск, 17–18 октября 2018 года). Курск: ЮЗГУ, 2018. С. 269–272.

REFERENCES

1. Kazakov YuN, Novikova KA, Makaridze GD. Optimization of selection and technology improvement for under floor heating design. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2020;2(79):109-116. (In Russ.). <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2020-17-2-109-116>.
 2. Belkov IE, Savchenkov VV. Comparison of efficiency of heating systems with heated floor and radiators. *ENERGIYA-2018: Trinadtsataya mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya studentov, aspirantov i molodykh uchenykh*: in 6 vol. Vol. 1. *Teploenergetika* (Ivanovo, 03–05 April 2018). Ivanovo: ISPU named after V.I. Lenin; 2018. p. 64. (In Russ.).
 3. Mazhidov NN, Atamov AA, Kosimov TO. Features of underfloor heating and underfloor heating systems. *Nauchnoe znanie sovremennosti*. 2017;3(3):203-207.
 4. Shelekhov IYu, Altukhov IV, Ochirov VD. Analysis of the use of self-regulating heating elements for heated floor systems in rural areas. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021;2(196):113-120. (In Russ.).
 5. Yarkov ID. Features of the design of warm floors. *Alleya nauki*. 2018;3(4):858-861. (In Russ.).
 6. Shelekhov IYu, Yanchenko VA. Application features of the "warm floors" system in Siberia. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2011;12:156-160. (In Russ.).
 7. Pukhkal V, Taurit V. The study of compact convective stream formed by use of recessed floor convection heaters with natural air circulation. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2017;692:379-390. https://doi.org/10.1007/978-3-319-70987-1_40.

8. Pukhkal V. The study of flat convective stream formed by use of recessed floor convection heaters with natural air circulation in high height rooms with continuous glassing. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2017;692:512-519. https://doi.org/10.1007/978-3-319-70987-1_54.
 9. Trufanova NM, Salavatov VE. Influence of various heating conditions on the temperature field in the residential room. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ya = Scientific and Technical Volga region Bulletin*. 2017;4:208-211. (In Russ.). <https://doi.org/10.24153/2079-5920-2017-7-4-208-211>.
 10. Wang Q, Ploskic A, Holmberg S. Ventilation heat recovery jointed low-temperature heating in retro-fitting—An investigation of energy conservation, environmental impacts and indoor air quality in Swedish multifamily houses. *Journal of Energy and Buildings*. 2016;121:250-264. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.02.050>.
 11. Psareva DV. Features of self-regulating cable application in the system of warm floor. *Innovatsii, tekhnologii i biznes*. 2018;1(4):60-66. (In Russ.).
 12. Legezina AS, Koren'kova GV. Warm floor in living quarters: design, advantages. *Problemy i perspektivy razvitiya Rossii: Molodezhnyi vzglyad v budushchee: sbornik nauchnykh statei Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii*: in 4 vol. Vol. 3 (Kursk, 17–18 October 2018). Kursk: SWSU; 2018. p. 269-272. (In Russ.).

Сведения об авторах

Шелехов Игорь Юрьевич,
 кандидат технических наук, доцент кафедры городского строительства и хозяйства, Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия, e-mail: promteplo@yandex.ru
 ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7677-3187>

Information about the authors

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

Кузнецов Константин Леонидович,
кандидат химических наук, доцент кафедры
промышленной экологии и безопасности
жизнедеятельности,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
руководитель,
Судебно-экспертное учреждение
федеральной противопожарной службы
«Испытательная пожарная лаборатория по
Иркутской области»,
664007, г. Иркутск, ул. Култукская, 10, Россия,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8091-1247>

Рощупкина Лилия Владимировна,
инженер,
Судебно-экспертное учреждение
федеральной противопожарной службы
«Испытательная пожарная лаборатория
по Иркутской области»,
664007, г. Иркутск, ул. Култукская, 10, Россия,
магистрант,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: Roshchupkina73@mail.ru

Чусикова Кристина Эдуардовна,
магистрант,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: kristina.nadiozhina@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4974-7012>

Заявленный 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.

Статья поступила в редакцию 15.07.2021.
Одобрена после рецензирования 16.08.2021.
Принята к публикации 19.08.2021.

Konstantin L. Kuznetsov,
Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor
of the Department of Industrial Ecology
and Life Safety,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
Director,
Forensic expert institution of the Federal Fire
Service "Testing Fire Laboratory in the Irkutsk
region",
10 Kultujskaya Str., Irkutsk, 664007, Russia,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8091-1247>

Lidiya V. Roshchupkina,
Engineer,
Forensic expert institution
of the Federal Fire Service "Testing Fire
Laboratory in the Irkutsk region",
10 Kultujskaya St., Irkutsk, 664007, Russia,
Undergraduate,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: Roshchupkina73@mail.ru

Kristina E. Chusikova,
Master's student,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: kristina.nadiozhina@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4974-7012>

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.

The article was submitted 15.07.2021.
Approved after reviewing 16.08.2021.
Accepted for publication 19.08.2021.



Этапы формирования комплексной аналитической модели исследования типологического состава прибрежной территории реки Дон в границах Ростовской области на примере станицы Старочеркасской

© А. В. Бергман

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Санкт-Петербург, Россия

Резюме: Цель заключается в детальном рассмотрении аналитического этапа (этап № 2) формирования комплексной аналитической модели типологического состава прибрежной территории реки Дон в границах Ростовской области. Предлагается методика оценки прибрежной территории в рамках ее композиционных особенностей. На основе результатов этапа обоснования (этап № 1) комплексной аналитической модели были сформулированы цели и задачи анализа прибрежных территорий. Выявлены существующие проблемы прибрежной территории реки Дон в пределах станицы Старочеркасской. Определено ядро комплексной аналитической модели – объект и предмет исследования, связанные его границами. Объектом исследования является прибрежная территория реки Дон в пределах станицы Старочеркасской в границах улиц Береговой и Малосадовой. Предметом анализа являются архитектурно-композиционные закономерности формирования прибрежной территории с 1930-х гг. и до настоящего времени. Отличительной чертой методики комплексного анализа прибрежной территории является разделение всех его этапов на два уровня: глобальный и локальный. В перспективе методика может быть применена для исследования текущего состояния прибрежной территории и построения аналитической модели прибрежной территории для создания рекомендаций по ее сохранению и развитию.

Ключевые слова: ландшафтно-визуальный анализ, прибрежная территория, исторический городской контекст, архитектурно-композиционный анализ, ландшафтно-визуальный анализ

Для цитирования: Бергман А. В. Этапы формирования комплексной аналитической модели исследования типологического состава прибрежной территории реки Дон в границах Ростовской области на примере станицы Старочеркасской // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2021. Т. 11. № 3. С. 500–509. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-500-509>.

Milestones in developing an integrated analytical model to assess the typological structure of the Don River coastal area within Rostov region on the example of stanitsa Starocherkasskaya

Anastasia V. Bergman

Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,
Saint-Petersburg, Russia

Abstract: The paper examines the analytical stage (stage 2) performed during the formation of an integrated analytical model to assess the typological structure of the Don River coastal area within the Rostov region. An evaluation method for coastal territories within their structural characteristics is proposed. The substantiation stage (stage 1) of the complex analytical model allowed the goals and objectives of the coastal area analysis to be defined. The existing problems in the coastal area of the Don River within the stanitsa Starocherkasskaya were identified. The object and subject of investigation were defined in the complex analytical model. The research object is the coastal area of the Don River located in the stanitsa Starocherkasskaya between Beregovaya and Malosadovaya streets. The research subject is the architectural and structural patterns of the coastal area development from the 1930s up to the present. A complex coastal area analysis comprises dividing all its phases into two levels: global and local. Ultimately, by applying this method, the current state can be investigated and an analytical model built for a coastal area to provide recommendations for its preservation and improvement.

Keywords: landscape and visual analysis, coastal area, historical urban context, architectural and compositional analysis, landscape and visual analysis

For citation: Bergman A. V. Milestones in developing an integrated analytical model to assess the typological structure of the Don River coastal area within Rostov region on the example of stanitsa Staroherkasskaya. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2021;11(3):500-509. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-500-509>.

Введение

В XIX–XX вв. прибрежные территории традиционно использовались для размещения объектов промышленности, водного транспорта, рыбного промысла. В настоящее время многие из этих прибрежных зон представляют собой деградирующие территории. С другой стороны, участки, прилегающие к водным объектам на сегодняшний день, представляют большой интерес в качестве экологической составляющей городов. Однако многие прибрежные территории невозможно вывести из режима транспортного или промышленного функционирования, что, в свою очередь, требует поиска оптимального соотношения использования данных территорий всеми сообществами, заинтересованными в выходе к этим участкам. Традиционно данная проблема рассматривается с точки зрения социологических основ территориального планирования. Автором предлагается методика оценки прибрежных территорий в рамках ее композиционных особенностей. Гипотеза: комплексная аналитическая модель типологического состава прибрежной территории станет одним из инструментов для формирования представления архитектурно-композиционных характеристик территории, в том числе и визуальной идентичности.

Методы

Актуальность

Можно констатировать тот факт, что вопрос сохранения и деликатного развития архитектурного облика крупных городов в регионах России на сегодняшний день стоит особенно остро – хаотичная застройка многоквартирными высотными зданиями не всегда адекватно соотносится с существующей городской тканью, а зачастую неуместно вторгается в нее и разрушает исторически сложившуюся ценную среду.

Особенно это актуально для городов с колоссальным потенциалом прибрежных территорий, представляющих большой интерес для девелоперов.

В частности, Ростов-на-Дону – центр Южного федерального округа – с уникальной при-

брежной территорией реки Дон находится в фокусе внимания девелоперов, использующих природный потенциал этой территории в коммерческих целях и не учитывающих ее исторический и архитектурно-композиционный контекст. Поэтому все исследования, направленные на изучение, систематизацию, архитектурно-композиционный анализ, сохранение и развитие визуальной идентичности прибрежной территории приобретают особенное значение и высокую степень актуальности для города в целом.

Основные положения аналитической модели прибрежной территории

Дон – главная река Ростовской области, на берегах которой располагается Ростов-на-Дону – крупнейший город на юго-западе России, административный центр Южного федерального округа и Ростовской области. Кроме Ростова-на-Дону, река объединяет ряд исторически сложившихся поселений, развитие которых по отношению к приречным территориям велось в тенденциях XIX–XX вв.

Спектр проблем и задач, стоящих перед архитекторами в условиях современной городской среды, требует более полного и комплексного подхода к их решению, нежели подход, характерный для методики ландшафтно-визуального анализа [1, 2].

Можно выделить следующие проблемы:

1. Отсутствие композиционно артикулированной целостной застройки города с выделением архитектурных композиционных доминант.

2. Утрата локальной визуальной идентичности территории («глобализация» архитектуры).

3. Потеря (либо необратимые изменения) городского средового контекста – разрушение исторической городской среды, деструкция элементов благоустройства, ограничение доступности объектов для всех категорий жителей.

4. Нарушение устойчивых функционально-планировочных связей прибрежной территории с застройкой центра города.

5. Отсутствие восприятия города как целостной системы «каркас – городская ткань» [3] (кризис системы районного планирования) и другие.

Основная идея методики комплексного анализа состоит в создании синтеза методик, применяемых на разных уровнях (глобальном и локальном). Синтез этих двух уровней обогащает каждый в отдельности новыми аспектами. Например, для анализа ценности ландшафта обобщение на глобальном уровне позволяет объединить и систематизировать хаотичные локальные черты, полученные в процессе ландшафтно-визуального анализа конкретной прибрежной территории. Другими словами, глобальный подход позволяет обобщить уникальные локальные черты и объединить их в индивидуальную систему.

Цель применения данной методики состоит в гармоничном синтезе аналитического инструментария и его адаптации с учетом специфики прибрежной территории.

Комплексная аналитическая модель типологического состава прибрежной территории

Перечислим этапы формирования комплексной аналитической модели типологического состава прибрежной территории (рис. 1):

- 1) этап обоснования (формирование предпосылок);
- 2) аналитический этап (формулировка объекта и предмета исследования и определение границ);
- 3) методологический этап (подбор методологии);
- 4) этап моделирования (разработка аналитической модели).

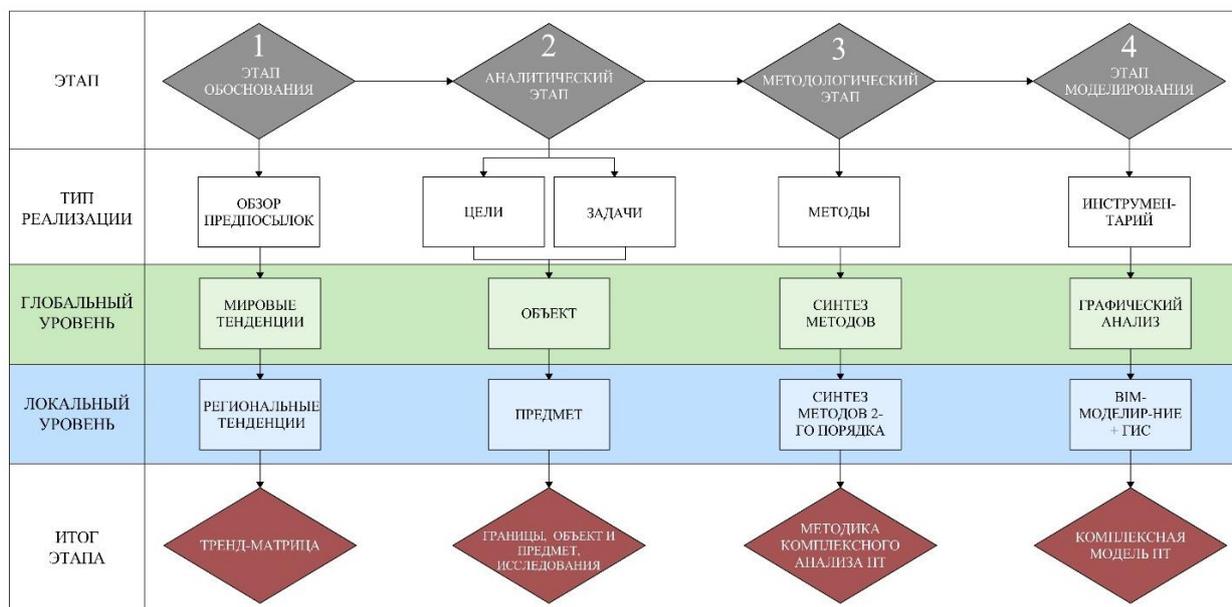


Рис. 1. Этапы формирования комплексной аналитической модели прибрежной территории
Fig. 1. Stages of the formation of an integrated analytical model of the coastal area

В данной статье автором детально рассматривается только аналитический этап (этап № 2).

Этап обоснования (этап № 1) рассмотрен исключительно для понимания общей структуры этапа № 2. Остальные этапы более детально будут освещены в других публикациях автора.

Обзор предпосылок на этапе № 1 представляет собой актуализацию тематики исследования [4–6] и определение состояния прибрежной территории [7, 8]. Последнее позволяет сформировать (рис. 1) общее поле проблематики, а именно:

1) критическое состояние каркаса города и городской ткани [3];

2) высокая скорость изменения структуры застройки внутри городской ткани;

3) экстенсивный рост жилой застройки на окраинах города и в дополнение к нему уплотнение застройки ядра города (в том числе исторического центра) и др.

Далее эти предпосылки классифицируются как локальные и глобальные. На этой базе формируются 2 группы тенденций, актуальных для рассмотренной проблематики. В результате эти группы образуют тренд-матрицу, которая задает «модульную сетку», в рамках которой развиваются остальные этапы формирования комплексной аналитической модели прибрежной территории («формирующие этапы» – этапы № 2, 3 и «результатирующий этап» –

этап № 4). Результат прохождения первого этапа – тренд-матрица – оказывает влияние на все дальнейшие этапы (№ 2–4), как в целом, так и в частности на каждый элемент отдельно. Например, мировая тенденция к смещению фокуса внимания в сторону решения проблемы урбанизации и деградации прибрежных территорий находит свое отражение в выборе объекта исследования – прибрежной территории. Это происходит на этапе № 2.

Другим примером является синтез актуальных разработок [9–11] в области теории архитектуры для создания методики комплексного анализа (включая методику партисипации, SWOT-анализ и т.д.) на этапе № 3 (методологическом). Влияние тренд-матрицы на четвертом этапе (этапе моделирования) можно проследить в результатах графического анализа и представлении материалов (визуализации данных).

Результаты и их обсуждение

Рассмотрим более детально этап № 2 на примере анализа прибрежной территории станицы Старочеркасской (рис. 2–4). Станица Старочеркасская (рис. 2) выбрана в качестве примера небольшого населенного пункта, находящегося в пределах ближнего радиуса (500 метров) воздействия реки (административный и исторический центры станицы расположены в 400 метрах от уреза воды). Станица расположена на правом берегу реки Дон, в

30 км к востоку от Ростова-на-Дону, в Аксайском районе Ростовской области. Старочеркасская – историческая столица Донского казачества, основанная в 1570 году и до 1805 года известная под названием Черкасск. В честь 400-летия Старочеркасска в 1970 году по инициативе Михаила Шолохова был основан Старочеркасский историко-архитектурный музей-заповедник. Он включает в себя территорию бывшего города Черкаска (центр станицы) с более 100 памятников гражданской и культурной архитектуры, а также несколько исторических территорий в окрестностях Старочеркасска.

Благодаря этому Старочеркасская станица стала известным туристическим местом, куда в период навигации, с конца апреля и до конца октября, совершают заходы круизные речные суда. В советское время, до начала 1990-х годов, Старочеркасская была связана водной линией с Ростовом-на-Дону, которую обслуживали скоростные пассажирские суда типа «Ракета», «Восход» и «Метеор». В настоящее время водное сообщение отсутствует. Можно отметить, что прибрежные территории реки Дон являются композиционной и функциональной доминантой для Старочеркасской. Поэтому очень важно провести анализ всех факторов, влияющих на формирование типологического состава данной прибрежной территории [12–14].



Рис. 2. Прибрежная территория станицы Старочеркасской (общий вид)¹
Fig. 2. Coastal area of the village of Starocherkasskaya (general view)

¹Станица Старочеркасская – утраченная столица донского казачества [Электронный ресурс] // Большой Ростов. URL: <https://big-rostov.ru/turizm/sem-chudes-dona/stanica-starocherkasskaya-utrachennaya-stolica-donskogo-kazachestva/#gallery-1> (10.06.2021).



Рис. 3. Прибрежная территория станицы Старочеркасской
(Воскресенский войсковой собор и колокольня)²

Fig. 3. Coastal territory of the village of Starocherkasskaya (Resurrection military cathedral and bell tower)



Рис. 4. Прибрежная территория станицы Старочеркасской
(Воскресенский войсковой собор и колокольня)³

Fig. 4. Coastal territory of the village of Starocherkasskaya (Resurrection military cathedral and bell tower)

²Воскресенский войсковой собор в станице Старочеркасской (Ростовская область) [Электронный ресурс] // Круизинформ. URL: <http://cruiseinform.ru/places/staroherkasskaya/voskresenskiy-voyskovoy-sobor> (10.06.2021).

³Воскресенский войсковой собор в станице Старочеркасской (Ростовская область) [Электронный ресурс] // Круизинформ. URL: <http://cruiseinform.ru/places/staroherkasskaya/voskresenskiy-voyskovoy-sobor> (10.06.2021).

Такой анализ проводится на аналитическом этапе (№ 2) формирования комплексной аналитической модели типологического состава прибрежной территории. Аналитический этап базируется на выявленной проблематике первого этапа. На первой стадии этапа № 2 формулируются цели и задачи, основанные на выделенных проблемах этапа № 1 и связанные с поиском их решения. Это позволяет очень четко определить рамки исследования. Далее на этапе № 2 уточняются предмет и объект анализа (рис. 5). Предмет анализа определяется исходя из постановки ряда задач. Для аналитического этапа стадия постановки целей и задач является базой для прохождения дальнейших стадий – классификации объекта исследования на глобальном уровне и предмета исследования на локальном. Стоит отметить, что оба этих уровня связаны через границы исследования. Границы исследования на глобальном уровне

ограничены одним морфотипом – рассматривается прибрежная территория (ПТ). Границы исследования на локальном уровне (пространственные границы) представляют собой прибрежные территории реки Дон в пределах Ростовской области.

Цель анализа – выявить существующие проблемы прибрежной территории реки Дон в границах станицы Строчеркасской.

Выявление существующей проблематики является важным этапом для дальнейших стратегических разработок (в том числе концепции развития территории). Для Старочеркасской можно назвать ряд таких важных проблем: утрата транспортной функциональной составляющей (водный транспорт), отсутствие устойчивых связей реки с застройкой (горизонтальные коммуникации), деградация застройки исторического ядра поселения и т.д.



Рис. 5. Аналитический этап (№ 2) формирования комплексной аналитической модели прибрежной территории

Fig. 5. Analytical stage (No. 2) of the formation of an integrated analytical model of the coastal area

В процессе исследования прибрежной территории станицы Старочеркасской были сформулированы также 5 основных задач анализа:

1. Провести архитектурно-планировочный, функциональный, средовой анализ территории.

Эти 3 вида анализа являются базовыми для любого фрагмента среды (городской застройки или прибрежной территории). Поэтому их важно провести для ПТ станицы Старочеркасской.

2. Выявить морфотип прибрежной территории в пределах ближнего радиуса воздействия реки (в пределах 500 метров).

Определение морфотипа ПТ позволяет более точно подобрать средства и методы для решения выявленных проблем. Морфотип иллюстрирует конфигурацию ландшафта вместе с архитектурно-композиционными особенностями застройки.

3. Провести историко-культурный анализ территории.

Историко-культурный анализ территории позволяет оставаться в рамках контекста места и соблюдать принцип «genius loci» – один из наиболее приемлемых в современном ми-

ре принципов работы с историческим городами и поселениями в рамках исторического ядра [15, 16].

4. Соединить полученные данные.

Этап объединения результатов в комплексную информационную модель ПТ является достаточно актуальным на сегодняшний день методом [17–19]. Благодаря использованию G/S-технологий появилась возможность создать модель такого порядка – информативную и доступную широкому кругу лиц. В том числе это позволяет акцентировать внимание на проблемах данной территории в удобной форме, соответствующей современным реалиям [20].

5. Обозначить ряд выявленных проблем прибрежной территории.

Проблема сохранения культурного наследия в таких небольших населенных пунктах возглавляет целый ряд проблем, так как считается наиболее весомой для уникальной исторической среды.

Если говорить об объекте исследования, то для реки Дон в пределах станицы Старочеркасской им является прибрежная территория на протяжении ул. Береговой – ул. Малосадовой (рис. 6). Предметом анализа являются архитектурно-композиционные закономерности формирования прибрежной территории с 1930-х гг. по настоящее время. Обе стадии связаны единой границей исследования – прибрежной территорией реки Дон в пределах станицы Старочеркасской, которая, с одной стороны, представляет собой ландшафтный морфотип граничной территории водного объекта (реки), с другой – связывает предмет исследования (архитектурно-композиционные закономерности формирования прибрежной территории) с локацией (Ростовская область, станица Старочеркасская) и историческим периодом, находящимся в фокусе внимания автора (с 1930-х годов до настоящего времени).

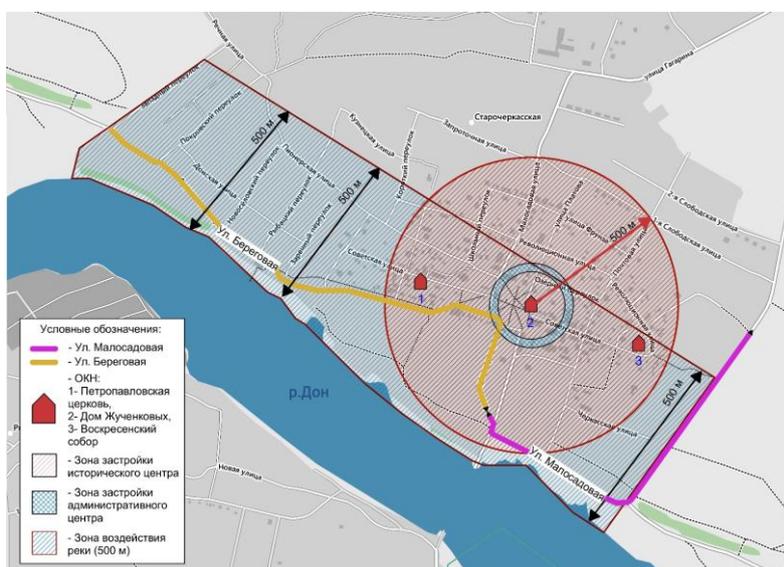


Рис. 6. Схема фрагмента территории станицы Старочеркасской с указанием административного и исторического центра и расстояний до уреза воды

Fig. 6. Scheme of a fragment of the territory of the village of Starocherkasskaya with an indication of the administrative and historical center and the distance to the water's edge

В итоге второго этапа выявляется первый элемент «каркаса» (ядро) комплексной аналитической модели – объект и предмет исследования, связанные границами исследования на разных уровнях. Дальнейшие методологические разработки ведутся исключительно вокруг «ядра». Они представляют собой структурную единицу (каркас), развивающуюся с учетом тренд-матрицы.

Заключение

При комплексном исследовании часто встречаются «вложенные» задачи, то есть задачи, последовательно вложенные одна в другую. Это позволяет более точно определить

предмет анализа, так как во вложенных задачах он идентичен. На основании вышесказанного, объектом анализа является прибрежная территория города, расположенного на реке. Предметом исследования являются архитектурно-композиционные закономерности формирования прибрежной территории. Отличительной чертой данной методики комплексного анализа прибрежной территории является разделение всех этапов на два уровня: глобальный и локальный. К глобальному уровню, рассматриваемому на 2-м этапе, относится объект анализа – прибрежная территория реки, к локальному – предмет анализа – закономерности формиро-

вания прибрежной территории станицы Старочеркасской на протяжении ул. Береговой – ул. Малосадовой с 1930-х гг. по настоящее время. Комплексная аналитическая модель прибрежной территории может быть использована для решения самых разных задач: градостроительный прогноз развития облика города, компьютерное моделирование различных вариантов проектного решения при новом строительстве в контексте городской исторической застройки, визуальное восприятие проектируемого объекта, выявление несоответствия реализованных высотных параметров объекта утвержденному проекту и т.д. Задачи комплексного архитектурно-композиционного визуального анализа, в первую очередь, ориентированы на обеспечение оптимального восприятия объектов культурного наследия, а также включают разработку рекомендаций по сохранению и последовательному развитию фрагментов городской панорамы.

Хочется отметить следующие ключевые положения, резюмирующие данную статью:

1. На сегодняшний день можно констатировать, что вопрос сохранения и деликатного развития архитектурного облика крупных городов в регионах России стоит особенно остро, поэтому исследования, направленные на выявление аутентичной архитектурно-композиционной составляющей, изучение, систематизацию, архитектурно-композиционный анализ, сохранение визуальной идентичности прибрежной территории, приобретают не только важное культурное значение в целом, но и высокую степень значимости для конкретного города.

2. Существующие на данном этапе развития архитектурной практики методики предпроект-

ного анализа (ландшафтно-визуальный анализ) отражают важные аспекты, связанные с формированием и развитием исторической среды, но в этих методиках отсутствует комплексный междисциплинарный подход в той степени, которая позволила бы сохранить архитектурную композицию городской панорамы (речной фасад).

3. Отличием рассмотренной методики комплексного анализа является ее синтетический характер – в ней синтезированы существующие методы анализа, но при этом они применены на двух разных уровнях (глобальном и локальном). К преимуществам методики комплексного анализа прибрежной территории можно отнести высокую адаптивность за счет преобладания аспектов локального уровня анализа, а также эффект синергии, получаемый благодаря взаимопроникновению локального и глобального методологических уровней. Все это позволяет создать базу для сохранения исторического наследия и городской ткани в целом, визуальной идентичности застройки, а также уникального образа города (так называемого «genius loci»).

Перспективы применения методики можно сформулировать следующим образом:

а. Аналитика текущего состояния территории (с приоритетом исторической ценности застройки), позволяющая зафиксировать городские доминанты, визуальный каркас прибрежной территории и историческую городскую среду.

б. Построение аналитической модели прибрежной территории для создания рекомендаций по ее сохранению и развитию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Akristiniy V., Dikova E. The visual-landscape analysis during the integration of high-rise buildings within the historic urban environment // E3S Web of Conferences. 2018. Vol. 33. p. 01044. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183301044>.
2. Ptichnikova G. New century high risers in the core areas of historic cities in Russia // Procedia Engineering. 2016. Vol. 165. p. 1903–1910. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.940>.
3. Гутнов А.Э. Эволюция градостроительства. М.: Стройиздат, 1984. 256 с.
4. Juntti M., Lundy L. A mixed methods approach to urban ecosystem services: Experienced environmental quality and its role in ecosystem assessment within an inner-city estate // Landscape and Urban Planning. 2017. Vol. 161. p. 10–21. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.01.002>.
5. Dossche R., Rogge E., Eetvelde V.V. Detecting people's and landscape's identity in a changing mountain landscape. An example from the northern Apennines // Landscape Research. 2016. Vol. 41. p. 934–949. <https://doi.org/10.1080/01426397.2016.1187266>.
6. Бахмайер Т., Малинович Р.Д., Каракулова Е.Е., Вольфарт М.А., Фадель С., Гонсалес Д. Город и река: лицом к лицу // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2017. Т. 7. № 2. С. 84–90.
7. Tveit M., Ode A., Fry G. Key concepts in a framework for analysing visual landscape character // Landscape Research. 2006. Vol. 31. p. 229–255. <https://doi.org/10.1080/01426390600783269>.
8. Watts G., Marafa L. Validation of the Tranquillity Rating Prediction Tool (TRAPT): Comparative

studies in UK and Hong Kong // *Noise Mapping*. 2017. Vol. 4. p. 67–74. <https://doi.org/10.1515/noise-2017-0005>.

9. Wright-Wendel H.E., Zarger R.K., Mihelcic J.R. Accessibility and usability: Green space preferences, perceptions, and barriers in a rapidly urbanizing city in Latin America // *Landscape and Urban Planning*. 2012. Vol. 107. p. 272–282. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.06.003>.

10. Carnevale E., Lombardi L., Zanchi L. Wind and solar energy: a comparison of costs and environmental impacts // *Advances in Energy Research*. 2016. Vol. 4. № 2. p. 121–146. <http://dx.doi.org/10.12989/eri.2016.4.2.121>.

11. Llewellyn D., Rohse M., Bere J., Lewis K., Fyfe H. Transforming landscapes and identities in the south Wales valleys // *Landscape Research*. 2017. Vol. 44. p. 804–821. <https://doi.org/10.1080/01426397.2017.1336208>.

12. Palmer J.F. The contribution of key observation point evaluation to a scientifically rigorous approach to visual impact assessment // *Landscape and Urban Planning*. 2019. Vol. 183. p. 100–110. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.11.001>.

13. Kaminski J., Benson A.M., Arnold D. Contemporary issues in cultural heritage tourism. Abingdon: Routledge, 2014. p. 80–94.

14. Ramos I.L., Bernardo F., Ribeiro S.C., Eetvelde V.V. Landscape identity: Implications for policy making // *Land Use Policy*. 2016. Vol. 53. p. 36–43. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.01.030>.

15. Baharak A., Kloos M., Neugebauer C. Heritage

Impact Assessment, beyond an Assessment Tool: A comparative analysis of urban development impact on visual integrity in four UNESCO World Heritage Properties // *Journal of Cultural Heritage*. 2021. Vol. 47. p. 199–207. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2020.08.002>.

16. Wheeler R. Mining memories in a rural community: Landscape, temporality and place identity // *Journal of Rural Studies*. 2014. Vol. 36. p. 22–32. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2014.06.005>.

17. Foo K., Gallagher E., Bishop I., Kim A. Critical landscape visualization: Introduction to LAND SI “Critical Approaches to Landscape Visualization” // *Landscape and Urban Planning*. 2015. Vol. 142. p. 80–84. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.07.014>.

18. Oh K. Visual threshold carrying capacity (VTCC) in urban landscape management: A case study of Seoul, Korea // *Landscape and Urban Planning*. 1998. Vol. 39. p. 283–294. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(97\)00085-6](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(97)00085-6).

19. Aras E. Effects of multiple dam projects on river ecology and climate change: Çoruh River Basin, Turkey // *Advances in Environmental Research*. 2018. Vol. 7. № 2. p. 121–138. <https://doi.org/10.12989/aer.2018.7.2.121>.

20. Tieskens K.F., Zanten B.T.V., Schulp C.J.E., Verburg P.H. Aesthetic appreciation of the cultural landscape through social media: An analysis of revealed preference in the Dutch river landscape // *Landscape and Urban Planning*. 2018. Vol. 177. p. 128–137. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.05.002>.

REFERENCES

1. Akristiniy V, Dikova E. The visual-landscape analysis during the integration of high-rise buildings within the historic urban environment. *E3S Web of Conferences*. 2018;33:01044. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183301044>.

2. Ptichnikova G. New century high risers in the core areas of historic cities in Russia. *Procedia Engineering*. 2016;165:1903-1910. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.940>.

3. Gutnov AE. Urban planning evolution. Moscow: Stroyizdat; 1984. 256 p. (In Russ.).

4. Juntti M, Lundy L. A mixed methods approach to urban ecosystem services: Experienced environmental quality and its role in ecosystem assessment within an inner-city estate. *Landscape and Urban Planning*. 2017;161:10-21. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.01.002>.

5. Dossche R, Rogge E, Eetvelde VV. Detecting people's and landscape's identity in a changing mountain landscape. An example from the northern Apennines. *Landscape Research*. 2016;41:934-949. <https://doi.org/10.1080/01426>

397.2016.1187266.

6. Bachmayer T, Malinovich RD, Karakulova EE, Wolfarth MA, Fadel S, Gonzalez D. City and river: face to face. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2017;7(2):84-90.

7. Tveit M, Ode A, Fry G. Key concepts in a framework for analysing visual landscape character. *Landscape Research*. 2006;31:229-255. <https://doi.org/10.1080/01426390600783269>.

8. Watts G, Marafa L. Validation of the Tranquillity Rating Prediction Tool (TRAPT): Comparative studies in UK and Hong Kong. *Noise Mapping*. 2017;4:67-74. <https://doi.org/10.1515/noise-2017-0005>.

9. Wright-Wendel HE, Zarger RK, Mihelcic JR. Accessibility and usability: Green space preferences, perceptions, and barriers in a rapidly urbanizing city in Latin America. *Landscape and Urban Planning*. 2012;107:272-282. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.06.003>.

10. Carnevale E, Lombardi L, Zanchi L. Wind and solar energy: a comparison of costs and environmental impacts. *Advances in Energy Research*. 2016;4(2):121-146. <http://dx.doi.org/10.12989/eri.2016.4.2.121>.
11. Llewellyn D, Rohse M, Bere J, Lewis K, Fyfe H. Transforming landscapes and identities in the south Wales valleys. *Landscape Research*. 2017;44:804-821. <https://doi.org/10.1080/01426397.2017.1336208>.
12. Palmer JF. The contribution of key observation point evaluation to a scientifically rigorous approach to visual impact assessment. *Landscape and Urban Planning*. 2019;183:100-110. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.11.001>.
13. Kaminski J, Benson AM, Arnold D. Contemporary issues in cultural heritage tourism. Abingdon: Routledge; 2014. 256 p.
14. Ramos IL, Bernardo F, Ribeiro SC, Eetvelde VV. Landscape identity: Implications for policy making. *Land Use Policy*. 2016;53:36-43. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.01.030>.
15. Baharak A, Kloos M, Neugebauer C. Heritage Impact Assessment, beyond an Assessment Tool: A comparative analysis of urban development impact on visual integrity in four UNESCO World Heritage Properties. *Journal of Cultural Heritage*. 2021;47:199-207. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2020.08.002>.
16. Wheeler R. Mining memories in a rural community: Landscape, temporality and place identity. *Journal of Rural Studies*. 2014;36:22-32. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2014.06.005>.
17. Foo K, Gallagher E, Bishop I, Kim A. Critical landscape visualization: Introduction to LAND SI "Critical Approaches to Landscape Visualization". *Landscape and Urban Planning*. 2015;142:80-84. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.07.014>.
18. Oh K. Visual threshold carrying capacity (VTCC) in urban landscape management: A case study of Seoul, Korea. *Landscape and Urban Planning*. 1998;39:283-294. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(97\)00085-6](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(97)00085-6).
19. Aras E. Effects of multiple dam projects on river ecology and climate change: Çoruh River Ba-sin, Turkey. *Advances in Environmental Research*. 2018;7(2):121-138. <https://doi.org/10.12989/aer.2018.7.2.121>.
20. Tieskens KF, Zanten BTV, Schulp CJE, Verburg PH. Aesthetic appreciation of the cultural landscape through social media: An analysis of revealed preference in the Dutch river landscape. *Land-scape and Urban Planning*. 2018;177:128-137. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.05.002>.

Сведения об авторе

Бергман Анастасия Владимировна, аспирант,
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, 4, Россия,
e-mail: stasie_b@mail.ru
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5442-0639>

Заявленный вклад автора

Бергман А. В. подготовила рукопись к печати и несет ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 15.06.2021.
Одобрена после рецензирования 19.07.2021.
Принята к публикации 23.07.2021.

Information about the author

Anastasia V. Bergman,
Post-graduate student,
Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,
4 Vtoraya Krasnoarmeiskaya St., Saint Petersburg, 190005, Russia,
e-mail: stasie_b@mail.ru
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5442-0639>

Contribution of the author

Bergman A. V. prepared the copyright for publication and bears the responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

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

The article was submitted 15.06.2021.
Approved after reviewing 19.07.2021.
Accepted for publication 23.07.2021.



Разработка эффективного планировочного решения офисного пространства путем прогнозируемой организации социального пространства

© Т. А. Дашиев

Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Резюме: Целью исследования является разработка эффективного планировочного решения офисного пространства путем прогнозируемой организации социального пространства. Также в статье выявляется принцип формирования функциональной структуры архитектурного объекта и приемы её последующей оценки. Исследование проведено на примере фрагмента реконструкции промышленного здания под функции коворкинг-центра. Методами работы послужили анализ и сбор данных в области проектирования коворкинг-центров с последующим топологическим анализом референсов, что позволило определить структуру связей между выделяемыми в пространстве элементами и функциональное наполнение помещения. На базе полученных данных сформированы варианты проектных решений офисного здания, для анализа которых были применены инструменты методологии пространственного синтаксиса. Для визуализации эффективности процессов «работа» и «отдых» составлены сравнительные графики их протекания, кроме того построен график процесса эвакуации. Данные графиков использованы для компиляции наиболее эффективных проектных решений. В результате трассировки маршрутов пользователей посредством симуляции человеко-потоков были определены уязвимости в логистических цепочках и структуре протекающего социального процесса. Графики показывали несколько пиковых значений, что означало отсутствие необходимых функциональных зон. После устранения уязвимостей построенные графики протекания основного процесса показывают повышение уровня социальной эффективности на 17%. График эвакуации также показал результативность разработанного варианта планировочного решения в виде сокращения общего времени эвакуации пользователей. Наиболее эффективным оказалось решение по размещению рекреационных зон, имеющих высокую посещаемость, в самых проходимых местах структуры архитектурного объекта.

Ключевые слова: симуляция человеко-потоков, выбор планировочного решения офисного пространства, эффективность эксплуатации, пространственный синтаксис, социальное пространство

Для цитирования: Дашиев Т. А. Разработка эффективного планировочного решения офисного пространства путем прогнозируемой организации социального пространства // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2021. Т. 11. № 3. С. 510–519. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-510-519>.

Development of an efficient planning concept for office space by projected organisation of social space

Timur A. Dashiev

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract: This study aims to develop an efficient planning concept for office space by a projected organisation of social space. The article shows a principle of developing the functional design of an architectural structure and methods of its subsequent assessment. The study was carried out using the example of a section under reconstruction in an industrial building for the functions of a co-working centre. The methods included analysis and acquisition of data on the design of co-working centres with the subsequent topological analysis of references. This allowed the structure of connections between the elements allocated in space and the functional content of the room to be determined. Based on the obtained data, the options for design solutions targeting an office building were formed. For their analysis, the tools of space syntax were applied. To visualise the efficiency of the "work" and "rest" processes,

comparative graphs of their behaviour were built, as well as a scheme for evacuation procedures. These graphs were used to compile the most effective design concepts. Tracing user routes through human flow simulations revealed vulnerabilities in supply chains and the structure of the ongoing social process. The graphs exhibited multiple peak values, meaning that necessary functional zones are missing. After eliminating these vulnerabilities, the built graphs of the key process show an increase of 17% in the level of social efficiency. The evacuation procedures also showed the efficiency of the developed layout concepts in reducing the total time for evacuating users. The most effective solution was to locate recreation areas with high attendance in the most accessible places in the framework of an architectural structure.

Keywords: simulation of human flows, the choice of a planning solution for office space, operational efficiency, space syntax, social space

For citation: Dashiev T. A. Development of an efficient planning concept for office space by projected organisation of social space. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2021;11(3):510-519. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-510-519>.

Введение

Каким образом архитектор может быть уверен в эффективности планировочных решений на этапе проектирования – вопрос, ответ на который автор пробует получить на примере реконструкции третьего этажа винной монополии «Кедр» в г. Иркутске.

Комплексные планировочные структуры имеют более сложный подход к функциональному зонированию, чем интерьер жилой квартиры, где можно положиться исключительно на эмпирический опыт [1–3]. Эффективные решения в области градостроительства требуют научного подхода, нужны инструменты анализа, систематизации и структурирования, на базе которых возможно формирование новой методики проектирования.

Основой для исследования стал процесс реконструкции промышленного объекта под функции коворкинг-центра как пример планировки с четкой структурой задач и высокой активностью эксплуатации помещения, эффективность которой зависит от логистических решений.

Основными референсами для объекта проектирования были выбраны два проекта коворкинг-центров, высоко оцененные пользователями и имеющие коммерческий успех. Референс «А» представляет собой здание «T-Rex Coworking Facility» в штате Миссури США, имеющее преимущественно крупноячеистую планировочную сетку офисных помещений, рассчитанных на 135 рабочих мест. Референс «Б» – коворкинг-центр «Hub Halifax» в Канаде с коридорной мелкоячеистой планировочной структурой, рассчитанной на 107 рабочих мест. Задача исследования – определить, какое планировочное решение окажется наиболее оптимальным и эффективным. Данная

задача реализуется путем разработки вариантов планировки пространства на основе референсов с их последующей оценкой при помощи симуляции производственного процесса.

Методы

Рассмотрим, что является основными структурообразующими функциями разрабатываемого объекта. Согласно М.В. Шубенкову [4], это и сформулирует социальный запрос [5], который нам необходимо будет удовлетворить.

Основной функцией коворкинг-центра является офисная деятельность, что означает необходимость создания рабочих мест, мест отдыха и питания, а также дополнительных удобств в виде санузлов и копи-центров. Далее данные функции, или же «локумы», будут отображены в виде цветных кругов, где каждый цвет будет обозначать определенную функцию. Также при анализе будут отмечены основные трансферные узлы, соединяющие эти функции, главной характеристикой которых является наличие прямой видимости между элементами с синтаксическим шагом, равным единице (термин, определенный в книге Билла Хиллиера «Social logic of space», означающий прямую связь между элементами без необходимости изменения вектора движения).

Целью анализа референсов является определение планировочной системы, принципов связей и функционального наполнения помещения. После определения структуры архитектурного объекта мы можем применить ее для организации планировочных решений на примере реконструкции здания винной монополии.

Для анализа референсов используется пространственный синтаксис – подход, разработанный Биллом Хиллиером и его партнерами [6–7]. Применяя данный подход, мы разбиваем пространство на существующие элементы и прокладываем связи между ними. В результате видим план графов, доступно отображающий функциональные решения, что позволяет построить пошаговую карту графов относительно входа как наиболее часто эксплуатируемого элемента системы. Благодаря этому мы увидим топологическую глубину

анализируемой структуры и характер ее связей.

На рис. 1 виден результат применения пространственного синтаксиса к зданиям «А» и «Б», прослеживаются принципиальные различия их планировочных структур [8]. А именно, в «Т-Rex Coworking Facility», в отличие от «Hub Halifax», имеются крупные ячейки со свободным расположением рабочих мест (синие точки) и больше количество дополнительных узлов (красные точки).

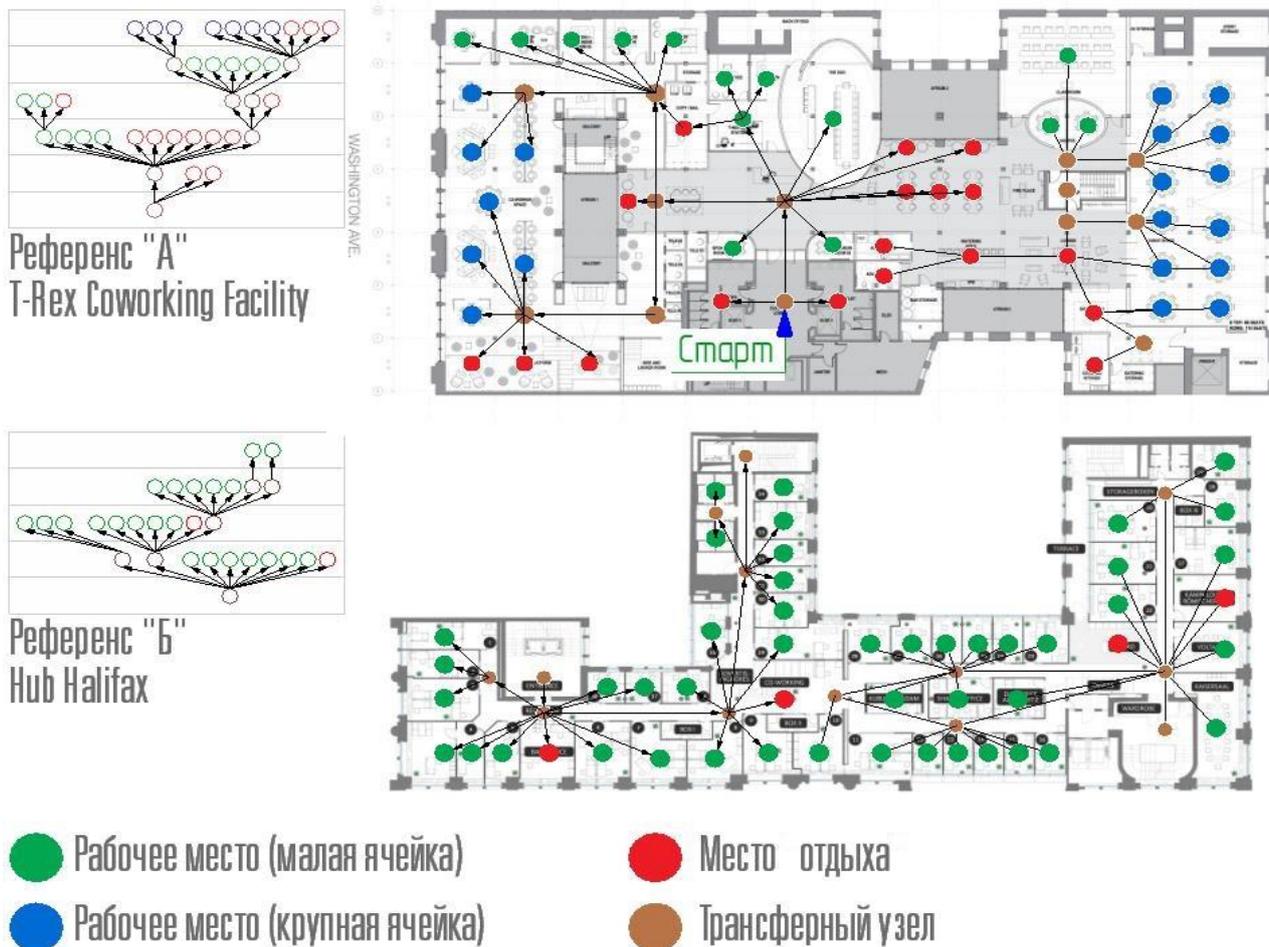


Рис. 1. Анализ референсов
Fig. 1. Reference analysis

Далее реализуем планировочные структуры из референсов на примере реконструируемого объекта (рис. 2). Для обоих вариантов соблюдены габаритные различия в масштабах планировочных решеток: в варианте «А» примерно равное количество рабочих мест в крупных и малых ячейках; в варианте «Б» отсутствуют крупные ячейки, соответственно, нет «синих точек» рабочих мест.

Можно обратить внимание на то, что в итоге пошаговая карта графов имеет для обоих

вариантов приблизительно одинаковый вид, схожий, в свою очередь, с решеткой референса «Б». Для варианта «А» получилось создать 138 рабочих мест, для варианта «Б» – 120.

Для выбора варианта планировочного решения коворкинг-центра BIM-модель третьего этажа главного корпуса винного завода «Кедр» импортируется в программную среду MassMotion – программное обеспечение нового поколения от компании «Oasys» для симуляции поведения отдельных пешеходов и це-

лых групп людей с целью последующего анализа. При сохранении параметров объекта и деталей (перекрытий, перегородок, несущих стен, предметного наполнения среды) происходит распознавание их пешеходами как поверхностей для движения или как барьеров, ограничивающих движение.

Для построения графика времени, затраченного на перемещения в зависимости от типа планировочного решения, перед пользователями ставится условная задача – написать текст объемом 1200 символов, что займет примерно 6 минут, с перерывом на отдых в обеденное время и посещением санузла.

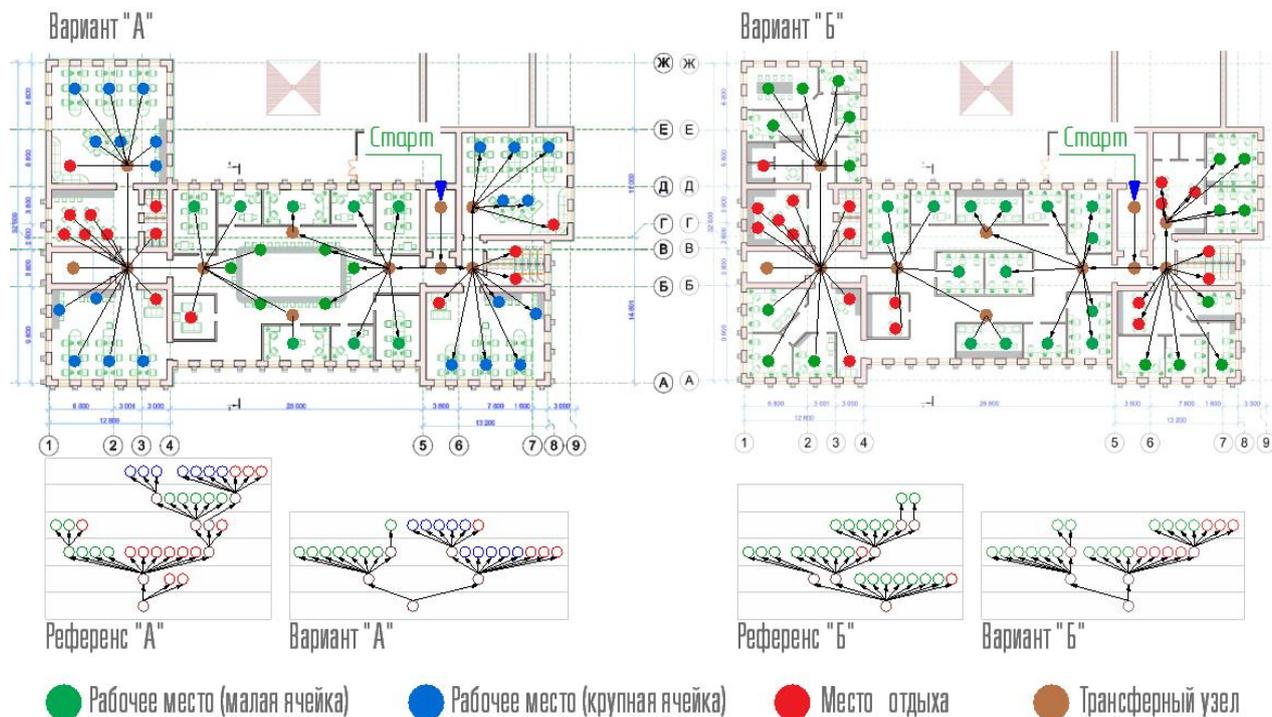


Рис. 2. Разработка вариантов планировки коворкинг-центра
Fig. 2. Development of variants for the layout of the coworking center

От всех участников симуляции, количество которых определено выше планировочным решением, требуется выполнение рабочего задания. Характер эксплуатации пользователями здания диктует задачи исследования: проследить путь и время передвижения пользователей, начиная от входа в здание и заканчивая выходом из него, с учетом времени, затраченного на все этапы производства.

Таким образом, рассматривается время, затраченное: a_1 – на маршрут от входа до рабочего места, закрепленного за каждым отдельным человеком; b_1 – на выполнение первого этапа работы; a_2 – перемещение до свободного места отдыха; c – отдых; a_3 – возвращение на рабочее место; b_1 – выполнение полного задания; a_4 – спуск к выходу после окончания рабочего дня. Общее значение времени определяется суммой времени x , затраченного на выполнение задания:

$$a_1 + b_1 + a_2 + c + a_3 + b_1 + a_4 = x.$$

Каждое рабочее место, отмеченное на плане, имеет определенное количество за-

крепленных людей, равное количеству посадочных мест.

Это утверждение справедливо и для мест отдыха, однако человек за ними не закреплен и выбирает ближайшее свободное место.

Таким образом, мы можем определить общее время симуляции для каждого отдельного человека. Определив среднее время для всех участников, мы найдем время, характеризующее скорость выполнения задания.

Однако полученные данные не дают представления о течении процесса [9–12], поэтому автор использует информацию о наличии людей на рабочих местах, которая привязана ко времени. Таким образом, построив график, где ось Y будет означать количество людей, а ось X – временной промежуток, берущий начало со старта симуляции, мы получим наглядное отображение рабочего процесса. Построив аналогичный график присутствия людей на местах отдыха и объединив его с графиком, построенным нами ранее, получаем график (рис. 3), отображающий скорость

выполнения людьми поставленной задачи, учитывающий характер течения процесса. Для построения графика эвакуации (рис. 3) были приняты условия, в которых все участники си-

муляции уже находились на своих рабочих местах. После начала эвакуации каждый отдельный пользователь искал кратчайший маршрут до ближайшего выхода.

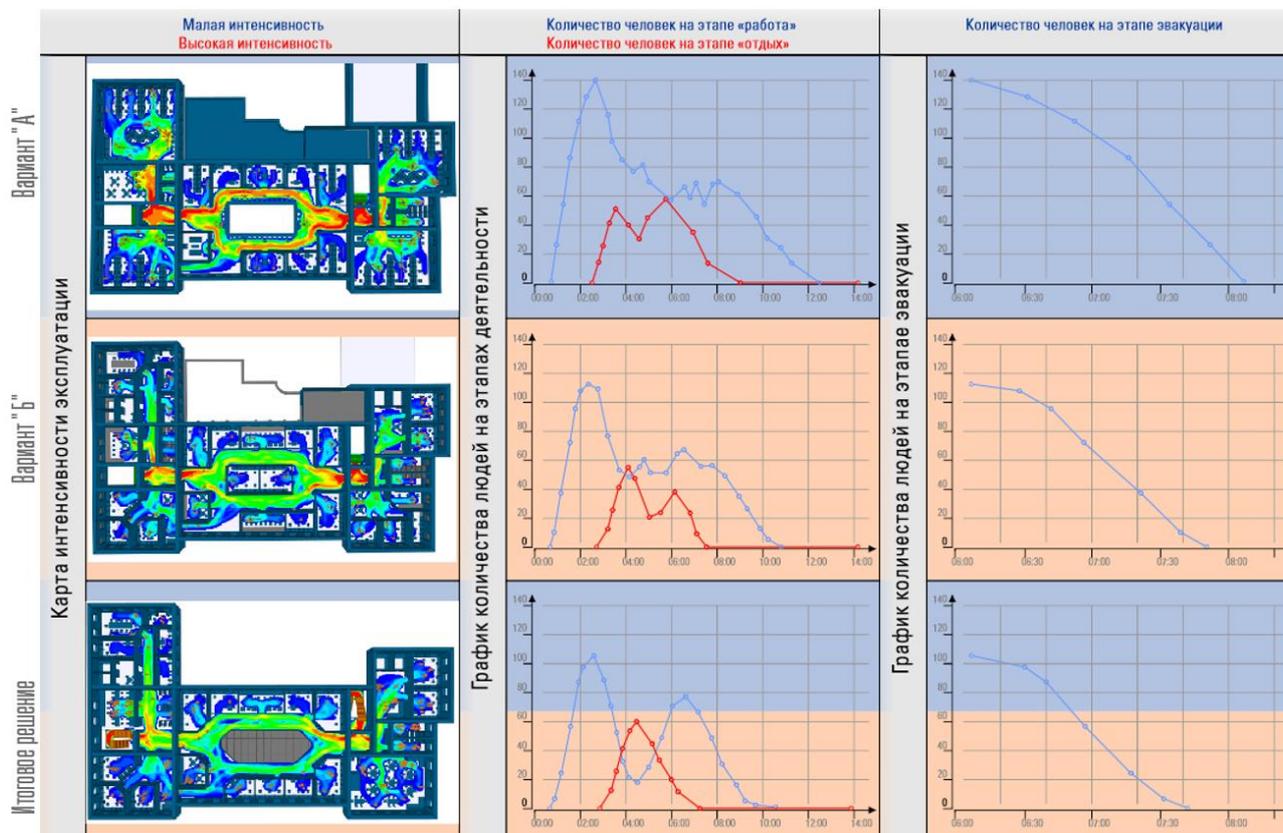


Рис. 3. Поэтапный анализ планировочных решений
Fig. 3. Step-by-step analysis of the planning solutions

Результаты и их обсуждение

Карта интенсивности эксплуатации (рис. 3) демонстрирует положение людей в рабочем процессе в помещениях 3-го этажа, где белым цветом обозначено полное отсутствие передвижения пользователей, а красным – максимальное количество маршрутов человеко-потоков.

Для большей наглядности графиков и карт симуляция проводится в режиме интенсивной эксплуатации помещений, таким образом определяются наиболее уязвимые места в планировочном решении этажа [13–15]. С максимальным числом пересечений потоков пользователей оказались входные зоны в офисные рабочие помещения и зоны коммуникаций для общего пользования. Такие пересечения и уплотнения потоков могут отрицательно сказаться на эффективности рабочего времени сотрудников. В варианте «А» довольно большая площадь отмечена красным цветом – это означает высокую плотность пользователей на данных участках, что, в

свою очередь, отрицательно скажется и на комфорте, и на скорости передвижения пользователей. Данную проблему можно было бы решить увеличением габаритов коридоров и дверных проемов, однако это невозможно из-за ограничений, накладываемых конструктивной схемой реконструируемого здания. При «островном» размещении рабочих мест в крупных помещениях отмечается постоянное пересечение потоков людей, что вызывает задержки в перемещениях по офису. В варианте «Б» перемещения служащих и характер их движения регулируется системой перегородок, что позитивно отразилось на уменьшении затрачиваемого времени на необходимые для производства перемещения.

Стоит обратить внимание на то, что рабочих мест в варианте «А» больше, чем в варианте «Б», что также сказывается на нагрузке трансферных сетей. Можно сделать вывод о том, что для выполнения поставленной задачи оптимальное количество пользователей равно 120.

При сравнении графиков количества людей при разных видах функциональной деятельности мы наблюдаем пиковые значения на этапах «работа» и «отдых» (рис. 3). Таким образом, мы можем увидеть как характер деятельности всех наблюдаемых субъектов, так и смену видов их деятельности, а также то, каким образом она осуществляется и какое время занимает [16–17]. График наглядно показывает степень оперативности пользователей и позволяет объективно оценить проектные решения с точки зрения оптимального выполнения функций и, как следствие, эффективности предприятия в целом. Скорость выполнения функций значительно выше при использовании планировочного решения коридорно-ячейкового типа. Решение поставленных задач пользователями в варианте «Б» заняло десять минут, что на две минуты меньше времени, затраченного пользователями в варианте «А». Принимая во внимание условия симуляции, можно заключить, что в варианте «Б» работа осуществлялась эффективнее на 17%. Вариант «Б» из-за большого количества рекреационных зон позволяет осуществить более быстрый переход между этапами деятельности.

Ранее уже упоминалось, что у вариантов «А» и «Б» карты графов похожи на решетку референса «Б». Однако в конструктивных рамках реконструируемого объекта лучший результат показывает аналог «Б» с мелкоячейковой структурой, наиболее похожей на структуру связей референса «Б».

В варианте «А» создано атриумное пространство, симуляция которого выявила его

неэффективность из-за сокращения коммуникационного пространства [18–19]. Однако данная симуляция не позволяет в полной мере оценить эстетико-практическое значение данного выбора, так как не учитывает инсоляционное и эмоциональное влияние второго света на пользователей.

В результате был разработан компромиссный вариант: убраны рабочие места в атриуме, сокращена площадь второго света в перекрытии центрального помещения коворкинг-центра. Для чистоты эксперимента в варианте «Б» отсутствовали планировочные решения с применением открытого офисного пространства, но они необходимы для более гибкого функционального зонирования коворкинг-центра. Поэтому планировочные решения одного из крупных офисов также были использованы при разработке итогового варианта планировки.

В результате анализа, проведенного с помощью нового аналитического подхода к проектированию офисных зданий, был разработан третий вариант планировочного решения делового пространства (рис. 4). После анализа карты интенсивности и изменения конфигурации атриума, предполагающего более удобные пути для перемещения пользователей, предлагается более экономичный, с учетом эргономики, характер движения пользователей при сохранении функциональных зон атриума. Это позволило добавить еще один кабинет в структуру фриланс-центра, дополнительные рекреации и сократить расстояние между отдельными функциональными зонами.

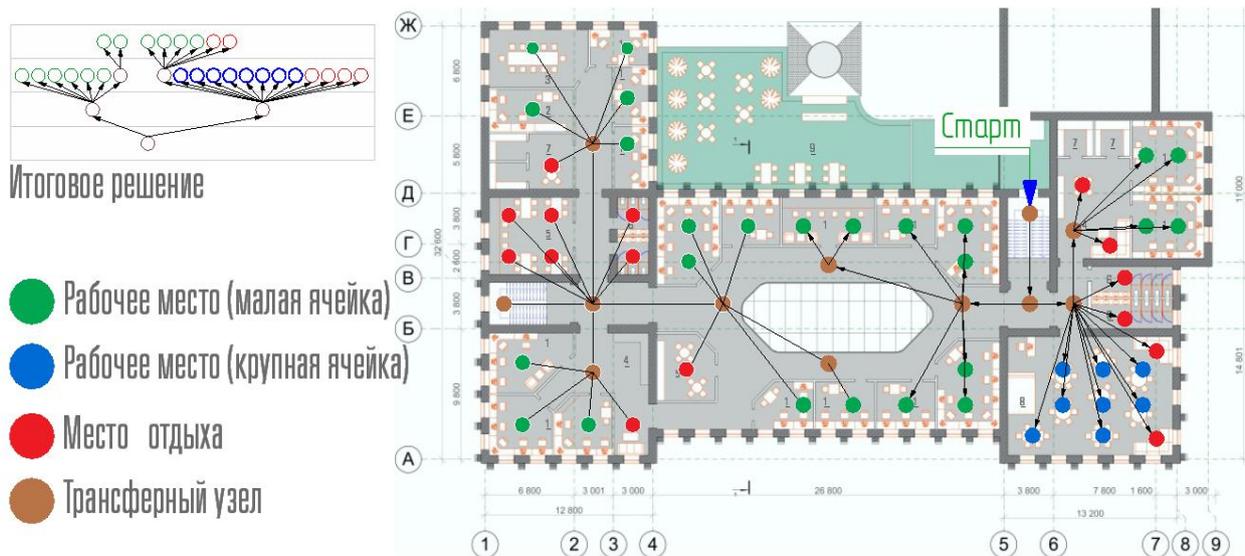


Рис. 4. Итоговое решение
Fig. 4. The final solution

Повышение эффективности деятельности отражено на рис. 3: графики количества людей демонстрируют эвакуацию основной массы сотрудников из здания уже к девятой минуте, что указывает на то, что проектное решение эффективнее варианта «Б» на 8%. Также изменился характер движения графиков, в итоговом варианте мы видим более плавную перемену задач у пользователей и отсутствие очередей, что было достигнуто путем оптимизации мест размещения рекреационных зон. Анализ карты интенсивности эксплуатации [20] показывает равномерное распределение пользователей в коммуникационном пространстве, указывает на уменьшение препятствий при перемещениях и вероятности возникновения давки в случаях экстренной эвакуации. Также наблюдается положительный эффект от увеличения ширины эвакуационных проемов лестничных клеток в местах уплотнения человеко-потоков.

Заключение

Таким образом, для изучения влияния топологических свойств архитектурного объекта на социальную эффективность процессов, в нем протекающих, была создана экспериментальная модель эффективного планировочного решения офисного пространства. В условиях определенной автором функции был сформулирован процесс, описывающий необходимые функциональные связи. Были взяты удачные референсы основной функции, определена их структура и применена в условиях

реконструкции. Возможность использования двух различных планировочных решений в границах реконструкции позволило определить дополнительные рамки исследования для чистоты эксперимента. Были созданы все условия для того, чтобы эффективность проекта определялась исключительно логистикой. Для анализа вариантов планировочных структур и определения степени эффективности решения была применена симуляция человеко-потоков, что позволило найти самый оптимальный вариант планировки помещения. Наиболее эффективным с точки зрения качества социального процесса оказалось решение по размещению функций с наибольшим числом пользователей в самых проходимых местах структуры архитектурного объекта.

Можно заключить, что, решая подобного рода задачи с другими условиями, мы сможем выявить новые способы и приемы планировки зданий, которые могут стать основой для нового взгляда на методику проектирования.

Анализ топологии пространства открывает новые инструменты для понимания планировочных систем в целом, что может позволить прогнозировать эффективность эксплуатации, понять, в каком направлении может происходить трансформация структуры архитектурного пространства в зависимости от социального запроса, набора функций, которые необходимы определенной группе людей в данный момент и в перспективном будущем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Большаков А.Г. Стратегия развития кампуса ИРНТУ // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2019. Т. 9. № 2. С. 396–407. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-2-396-407>.
2. Bolshakov A.G. Urban topology of university campus // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2019. Vol. 667. p. 012014. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/667/1/012014>.
3. Bolshakov A.G. INRTU campus development strategy. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2019. Vol. 667. p. 012015. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/667/1/012015>.
4. Shubenkov M.V., Khomyakov D.A. Space of the regional agglomerations and re-industrialization // Journal of applied engineering science. 2016. Vol. 14. Issue 1. p. 154–162. <https://doi.org/10.5937/jaes14-10217>.
5. Яргина З.Н. Эстетика города. М.: Стройиздат, 1991. 366 с.
6. Hillier B., Hanson J. The Social Logic of Space. Cambridge: Cambridge University Press, 1984. 296 p.
7. Hillier B. Space is the Machine. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. 370 p.
8. Крашенинников А.В. Социально-пространственная структура пешеходного пространства // Architecture and modern information technologies. 2012. № 4. С. 21.
9. Tomei V., Imbimbo M., Mele E. Optimization of structural patterns for tall buildings: The case of diagrid // Engineering Structures. 2018. Vol. 171. p. 280–297.
10. McCormack G.R., Koohsari M.J., Turley L., Nakaya T., Shibata A., Ishii K., et al. Evidence for urban design and public health policy and practice: Space syntax metrics and neighborhood walking // Health & Place. 2021. Vol. 67. p. 102277. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2019.102277>.

11. Fang Y., Mao J., Liu Q., Huang J. Exploratory space data analysis of spatial patterns of large-scale retail commercial facilities: The case of Gulou District, Nanjing, China // *Frontiers of Architectural Research*. 2021. Vol. 10. Iss. 1. p. 17–32. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2020.02.002>.
12. Lebendiger Y., Lerman Y. Applying space syntax for surface rapid transit planning // *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2019. Vol. 128. p. 59–72. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.07.016>.
13. Askarizad R., Safari H. Investigating the role of semi-open spaces on the sociability of public libraries using space syntax (Case Studies: Sunrise Mountain and Desert Broom Libraries, Arizona, USA) // *Ain Shams Engineering Journal*. 2020. Vol. 11. Issue 1. p. 253–264. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2019.09.007>.
14. Alalouch Ch., Al-Hajri S., Naser A., Hinaia A.A. The impact of space syntax spatial attributes on urban land use in Muscat: Implications for urban sustainability // *Sustainable Cities and Society*. 2019. Vol. 46. p. 101417. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.01.002>.
15. Omer I., Kaplan N. Using space syntax and agent-based approaches for modeling pedestrian volume at the urban scale // *Computers, Environment and Urban Systems*. 2017. Vol. 64. p. 57–67. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2017.01.007>.
16. Xiana H., Lipeng Zh. Simulation of Pedestrian Flow in Traditional Commercial Streets Based on Space Syntax // *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 205. p. 1344–1349. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.117>.
17. Shatu F., Yigitcanlar T., Bunker J. Shortest path distance vs. least directional change: Empirical testing of space syntax and geographic theories concerning pedestrian route choice behavior // *Journal of Transport Geography*. 2019. Vol. 74. p. 37–52. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.11.005>.
18. Xia C., Zhang A., Wang H., Yeh A.G.O. Predicting the expansion of urban boundary using space syntax and multivariate regression model // *Habitat International*. 2019. Vol. 86. p. 126–134. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2019.03.001>.
19. Koohsari M.J., Oka K., Owen N., Sugiyama T. Natural movement: A space syntax theory linking urban form and function with walking for transport // *Health & Place*. 2019. Vol. 58. p. 102072. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2019.01.002>.
20. Alkamali N., Alhadhrami N., Alalouch C. Muscat City Expansion and Accessibility to the Historical Core: Space Syntax Analysis // *Energy Procedia*. 2017. Vol. 115. p. 480–486. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.044>.

REFERENCES

1. Bolshakov AG. Strategy for Irkutsk National Research Technical University (INRTU) campus development. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2019;9(2):396-407. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-2-396-407>.
2. Bolshakov AG. Urban topology of university campus. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng*. 2019;667:012014. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/667/1/012014>.
3. Bolshakov AG. INRTU campus development strategy. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng*. 2019;667:012015. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/667/1/012015>.
4. Shubenkov MV, Khomyakov DA. Space of the regional agglomerations and reindustrialization. *Journal of applied engineering science*. 2016;14(1):154-162. <https://doi.org/10.5937/jaes14-10217>.
5. Yarginah ZN. The aesthetics of the city. Moscow: Stroyizdat Publ.; 1991. 366 p. (In Russ.).
6. Hillier B, Hanson J. The Social Logic of Space. Cambridge: Cambridge University Press; 1984. 296 p.
7. Hillier B. Space is the Machine. Cambridge: Cambridge University Press; 1996. 370 p.
8. Krashennnikov AV. Structure of social space in pedestrian realm. *Architecture and modern information technologies*. 2012;4:21. (In Russ.).
9. Tomei V, Imbimbo M, Mele E. Optimization of structural patterns for tall buildings: The case of diagrid. *Engineering Structures*. 2018;171:280-297.
10. McCormacka GR, Koohsari MJ, Turley L, Nakaya T, Shibata A, Ishii K, et al. Evidence for urban design and public health policy and practice: Space syntax metrics and neighborhood walking. *Health & Place*. 2021;67:102277. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2019.102277>.

11. Fang Y, Mao J, Liu Q, Huang J. Exploratory space data analysis of spatial patterns of large-scale retail commercial facilities: The case of Gulou District, Nanjing, China. *Frontiers of Architectural Research*. 2021;10(1):17-32. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2020.02.002>.
12. Lebediger Y, Lerman Y. Applying space syntax for surface rapid transit planning. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2019;128:59-72. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.07.016>.
13. Askarizad R, Safari H. Investigating the role of semi-open spaces on the sociability of public libraries using space syntax (Case Studies: Sunrise Mountain and Desert Broom Libraries, Arizona, USA). *Ain Shams Engineering Journal*. 2020;11(1):253-264. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2019.09.007>.
14. Alalouch Ch, Al-Hajri S, Naser A, Hinaia AA. The impact of space syntax spatial attributes on urban land use in Muscat: Implications for urban sustainability. *Sustainable Cities and Society*. 2019;46:101417. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.01.002>.
15. Omer I, Kaplan N. Using space syntax and agent-based approaches for modeling pedestrian volume at the urban scale. *Computers, Environment and Urban Systems*. 2017;64:57-67. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2017.01.007>.
16. Xiana H, Lipeng Zh. Simulation of Pedestrian Flow in Traditional Commercial Streets Based on Space Syntax. *Procedia Engineering*. 2017;205:1344-1349. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.117>.
17. Shatu F, Yigitcanlar T, Bunker J. Shortest path distance vs. least directional change: Empirical testing of space syntax and geographic theories concerning pedestrian route choice behavior. *Journal of Transport Geography*. 2019;74:37-52. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.11.005>.
18. Xia C, Zhang A, Wang H, Yeh AGO. Predicting the expansion of urban boundary using space syntax and multivariate regression model. *Habitat International*. 2019;86:126-134. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2019.03.001>.
19. Koohsari MJ, Oka K, Owen N, Sugiyama T. Natural movement: A space syntax theory linking urban form and function with walking for transport. *Health & Place*. 2019;58:102072. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2019.01.002>.
20. Alkamali N, Alhadhrami N, Alalouch C. Muscat City Expansion and Accessibility to the Historical Core: Space Syntax Analysis. *Energy Procedia*. 2017;115:480-486. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.044>.

Сведения об авторе

Дашиев Тимур Алдарович,
аспирант кафедры архитектурного проектирования,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
e-mail: dashiev-timur@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7769-8377>

Заявленный вклад автора

Дашиев Т. А. владеет авторскими правами на статью и несет ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов относительно публикации данной статьи.

Information about the author

Timur A. Dashiev,
Postgraduate student of the Department of Architectural Design,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,
e-mail: dashiev-timur@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7769-8377>

Contribution of the author

Dashiev T. A. owns the copyright to the article and bears the responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

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

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

The author has read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 28.04.2021.
Одобрена после рецензирования 31.05.2021.
Принята к публикации 07.06.2021.

The article was submitted 28.04.2021.
Approved after reviewing 31.05.2021.
Accepted for publication 07.06.2021.



**К творческой биографии Льва Петровича Шишко
(инженера, архитектора, ученого, педагога)**

© М. В. Золотарева, А. В. Пономарев

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Санкт-Петербург, Россия

Резюме: В преддверии 190-летия Института гражданских инженеров необходимо вспомнить его выпускников, внесших заметный вклад в развитие отечественной архитектуры, инженерного искусства, техники и технологии конца XIX – начала XX вв. Одним из них является Л.П. Шишко – разносторонний специалист в области архитектурно-строительных и инженерных дисциплин, творческая биография которого рассматривается в данной статье. Исследование базируется на изучении архивных источников, анализе библиографического наследия зодчего. Были проанализированы здания, спроектированные и построенные Л.П. Шишко, выявлены принципы, которые легли в основу их объемно-планировочных, инженерных и технологических решений. Гражданский инженер Лев Петрович Шишко был ярким представителем плеяды зодчих, которые были готовы к решению новых задач в сфере архитектурно-строительного комплекса: разработке новых решений конструктивных систем, предложений по повышению эффективности строительного производства, качества строительства, инженерных систем и технологического оборудования. Объектами проектно-строительной деятельности Л.П. Шишко являлись сооружения Николаевской железной дороги, духовные учреждения, школы и другие общеобразовательные учреждения, доходные и частные дома, промышленные предприятия в различных городах России. Архитектор, инженер, технолог, ученый и преподаватель – в компетенции Л.П. Шишко были разнообразные специальности строительной области. На примере его творческого пути можно увидеть, насколько фундаментально гражданский инженер Л.П. Шишко подходил к решению каждой архитектурно-строительной и технологической задачи.

Ключевые слова: история русской архитектуры, инженерное искусство, архитектура Санкт-Петербурга, Институт гражданских инженеров, творческая биография гражданского инженера Л.П. Шишко

Для цитирования: Золотарева М. В., Пономарев А. В. К творческой биографии Льва Петровича Шишко (инженера, архитектора, ученого, педагога) // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2021. Т. 11. № 3. С. 520–531. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-520-531>.

**To the creative biography of Lev Petrovich Shishko
(engineer, architect, scientist, teacher)**

Milena V. Zolotareva, Aleksandr V. Ponomarev

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russia

Abstract: On the eve of the 190th anniversary of the Institute of Civil Engineers, it is necessary to be-think of its graduates who significantly contributed to the development of Russian architecture, engineering art, engineering and technology in the late 19th–early 20th centuries. A versatile specialist in the field of architecture, construction and engineering, L.P. Shishko is one of them, and his creative biography is discussed in this article. The research was based on evaluating archival sources, the bibliographic heritage of the architect. Designed and erected by L.P. Shishko, the buildings were analysed, and the basic principles of their space-planning, engineering and technological solutions were revealed. A prominent representative of a galaxy of architects, civil engineer Lev Petrovich Shishko was ready to solve new problems of architecture and civil engineering: developing new solutions for structural systems, increasing the efficiency of construction operations and the quality of construction, engineering systems and production equipment. The project-building activities of L.P. Shishko included the erection

of the Nikolaevsk railway, religious institutions, schools and other general educational institutions, revenue and private houses, industrial facilities in various Russian cities. Architect, engineer, technologist, scientist and teacher, L.P. Shishko had various professions in the field of civil engineering. Through the example of his career, one can see how fundamentally civil engineer L.P. Shishko approached each architectural and technological task.

Keywords: history of Russian architecture, engineering art, architecture of St. Petersburg, Institute of Civil Engineers, creative biography of civil engineer L.P. Shishko

For citation: Zolotareva M. V., Ponomarev A. V. To the creative biography of Lev Petrovich Shishko (engineer, architect, scientist, teacher). *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2021;11(3):520-531. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-520-531>.

Введение

Творческий путь гражданского инженера Льва Петровича Шишко демонстрирует ту широту знаний, которые получали выпускники Института гражданских инженеров в процессе обучения. Подкрепленные опытом, эти знания позволяли решать множество задач в архитектурно-строительной, инженерно-технологической, управленческо-экономической областях строительной деятельности. Поэтому не случайно, что о Л.П. Шишко можно прочитать следующие слова коллег: «замечательный архитектор, лучший рисовальщик в Институте гражданских инженеров», «блестящий инженер с огромным опытом», «крупный ученый».

Библиография его трудов составляет более 20 наименований. Также необходимо учитывать и неустанную преподавательскую деятельность профессора Л.П. Шишко, и его активную проектную работу. Почти сразу после окончания института Л.П. Шишко приглашают на преподавательскую работу. Будучи профессором, а затем директором Технологического института, он получает приглашения преподавать в Институт гражданских инженеров, Институт инженеров путей сообщения, Горный институт, Академию художеств, Электротехнический институт, Училище технического рисования имени барона Штиглица. По проектам Л.П. Шишко было построено не менее 200 зданий различного назначения. Зодчий строил не только в столице, но и в таких городах, как Тверь, Вышний Волочек, Саратов и др.

Методы

Исследование архивных источников помогло определить меру авторского участия в проектировании тех или иных зданий, особенно это касалось первых работ зодчего по реконструкции существующих объектов. Анализ библиографического наследия гражданского

инженера Л.П. Шишко позволил выявить круг его профессиональных интересов и проследить его формирование как специалиста в области техники и технологии. Объектами натурального обследования стали здания, спроектированные и построенные Л.П. Шишко, были выявлены принципы, которые легли в основу их объемно-планировочных, архитектурно-художественных и конструктивных решений.

Результаты и их обсуждение

Родился Лев Петрович Шишко в 1872 г. под Петербургом в Царском Селе.

В 1891 г. он поступил в Институт гражданских инженеров (ИГИ), который закончил в 1896 г. По окончании института талантливый молодой человек был награжден двумя медалями – золотой медалью, которую получил за лучший проект, и серебряной – за успешно выполненную работу по строительной механике. Как лучший выпускник, Л.П. Шишко был удостоен занесения своего имени на мраморную доску почета лучших выпускников ИГИ [1].

Лев Петрович Шишко всегда с теплотой относился к своей “alma mater”. Спустя много лет, выступая на торжестве, посвященном 75-летию юбилею, уже будучи директором Технологического института¹, он говорил: «Мне особенно приятно быть выразителем настоящего приветствия. Как питомцу института, 25 лет назад студентом младшего курса присутствующему на праздновании 50-летнего юбилея института; ныне же я являюсь представителем одного из старейших технологических учебных заведений».

Территориальная близость, наличие в преподавательском составе Технологического института многих гражданских инженеров, преследование общих целей развития и усовершенствования техники и многие другие нити, незримо связывающие оба института,

¹ЦГИА СПб. Ф.139. Оп. 1. Д. 16842.

позволяют мне обратиться с приветствием к институту гражданских инженеров не по долгу официальному, а по долгу сердечной признательности и благодарности.

Да здравствует Институт гражданских инженеров! Да процветает на пути развития техники и на общую пользу» [2].

После окончания института Л.П. Шишко вместе со своим старшим товарищем А.П. Максимовым, тоже выпускником ИГИ, пробует свои силы в конкурсном проектировании. Если А.П. Максимов уже участвовал в конкурсном проектировании (в 1895 г. им успешно были выполнены проекты Полтавского ремесленного училища и земской управы), то для Л.П. Шишко это был первый опыт.

Конкурсы регулярно объявлялись Обществом художников-архитекторов. Нам известны только два таких конкурса, в которых приняли участие гражданские инженеры Л.П. Шишко и А.П. Максимов и где их проекты были высоко оценены конкурсной комиссией.

За конкурсный проект дома для рабочих при фабрике товарищества Российско-американской резиновой мануфактуры Л.П. Шишко и А.П. Максимов получили первую премию из двадцати восьми конкурсантов.

Для проектирования этого жилого комплекса был выделен достаточно обширный участок, который располагался недалеко от предприятия и выходил на Нарвский проспект. Расположение участка позволяло удачно применить меридиональную ориентацию окон, обеспечивающую хорошую инсоляцию жилых помещений [3]. По заданию требовалось дополнительное устройство встроенных помещений, выходящих на проспект.

Архитекторами, выступившими под девизом «Просто», были запроектированы три поперечных флигеля, между которыми на одной из границ участка располагались боковые корпуса, кроме жилых зданий на заднем дворе была запроектирована прачечная с сушилкой (рис. 1). Во втором дворовом флигеле был расположен зал на 400 человек с соответствующими помещениями для проведения культурно-массовых мероприятий. В лицевом флигеле предусматривалось размещение четырех больших и двух малых магазинов. Жилые помещения в лицевом флигеле были скомпонованы по девять квартир на этаже с двумя и тремя комнатами, в каждой комнате должны были разместиться три постояльца. Квартиры имели прихожую, кухню и туалет.



Рис. 1. Л.П. Шишко и А.П. Максимов. Конкурсный проект дома для рабочих при фабрике товарищества Российско-американской резиновой мануфактуры. План 1 этажа [3]

Fig. 1. L.P. Shishko and A.P. Maksimov. A competitive project of a house for workers at the factory of the Association of Russian-American Rubber Manufactory. 1st floor plan [3]

Конкурсная комиссия писала: «Фасады просты, но характерны и красивы, чертежи исполнены в заданном масштабе весьма тщательно, умелой и опытной рукой». И далее: «Проект под девизом “Просто” принадлежит к числу наилучших, обработка как общего плана, так ровно и всех частей проекта всесторонне обдумана и практична» [4]. К сожалению, архитекторам не удалось реализовать этот масштабный проект жилого комплекса. Он был построен в несколько усеченном виде

архитектором Р.А. Гедике. Было возведено только два корпуса, имеющих полностью жилое назначение.

Вторым конкурсным проектом, выполненным Л.П. Шишко вместе с А.П. Максимовым, стал железнодорожный вокзал в городе Таганроге. Это было уже совсем иное здание по общему функциональному назначению и взаимодействию функциональных зон внутри него. Здесь конкурсанты заняли второе место. Рассматривая проект-победитель (архитекто-

ра Р.Б. Бернгарта) и проект Л.П. Шишко и А.П. Максимова [5], сложно сказать, какие требования предъявлялись к этому сооружению. Можно только предположить, что первоначально здание должно было соответствовать второму классу подобных сооружений, однако реализованный проект представляет собой здание первого класса, являясь сооружением тупикового типа.

Следует отметить, что Л.П. Шишко и А.П. Максимова будет связывать долгая творческая дружба, поскольку оба они работали в Технологическом институте.

После окончания института Лев Петрович Шишко поступил в 1896 г. на работу в Технико-строительный комитет Департамента духовных дел иностранных вероисповеданий при Министерстве внутренних дел. Работы архитектора были связаны с объектами римско-католической духовной коллегии. В первые годы практической деятельности, в 1900–1903 гг., Л.П. Шишко вел работы по надстройкам и перестройкам, переделке интерьеров. Перечислим некоторые из них: Римско-католическая духовная академия (1-ая линия

Васильевского острова, дом 52); здание Римско-католической духовной коллегии (наб. Фонтанки, дом 118); здание Римско-католической архиепархии (ул. 1-ой роты, дом 11), здание Римско-католической семинарии (пр. Римского-Корсакова, дом 49) [6].

Признанием таланта зодчего становится поручение ему выполнения проекта католического храма Пресвятой Девы Марии Кармельской в Гатчине [7]. Строительные работы были начаты в 1903 г. и производились при участии архитекторов П.П. Трифанова, Л.М. Харламова и А.А. Барышникова. В 1911 г. произошло освящение церкви. Этот небольшой по объему храм, выполненный в стиле неоготики, являлся своего рода доминантой, которую можно было видеть на значительном расстоянии (рис. 2).

Эпоха романтических тенденций и историзма позволила снабдить этот храм всеми элементами, присущими готической архитектуре, но переработав их и представив в стилизованном виде: перспективный портал, окно-роза, контрфорсы, стрельчатые окна, треугольный фронтон и т.п.

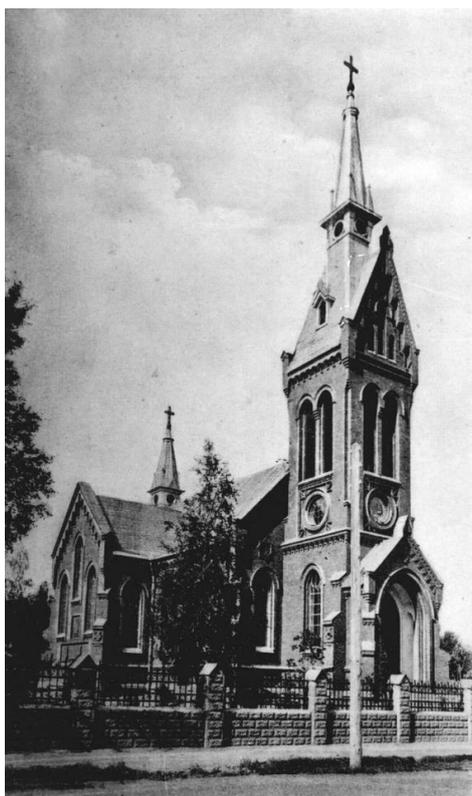


Рис. 2. Костел Девы Марии Кармельской в Гатчине².
Архитекторы Л.П. Шишко, П.П. Трифанов, Л.М. Харламов и А.А. Барышников
Fig. 2. Church of the Virgin Mary of Carmel in Gatchina.
Architects L.P. Shishko, P.P. Trifonov, L.M. Kharlamov and A.A. Baryshnikov

²Фото из сети интернет. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Церковь_Пресвятой_Девы_Марии_Кармельской_\(Гатчина\)#/media/Файл:Gatchina_kostel_1910-e.jpg](https://ru.wikipedia.org/wiki/Церковь_Пресвятой_Девы_Марии_Кармельской_(Гатчина)#/media/Файл:Gatchina_kostel_1910-e.jpg) (17.06.2021).

Еще несколько значительных объектов были выполнены Л.П. Шишко на территории Александро-Невской Лавры в период 1900–1910 годов [8, с. 7–9]. Зодчему предстояло выполнить центральные трехарочные ворота, двухэтажное здание кладбищенской конторы, причтовый дом, здание ризницы и древлехранилища, ажурную чугунную ограду. Архитектура комплекса Лавры складывалась в XVIII – первой половине XIX вв. в стилях барокко и классицизма, поэтому при строительстве необходимо было очень тактично подойти к архитектуре новых зданий. Зодчий, прибегая к приему стилизаторства, выполняет объекты с

применением пластики и деталей архитектуры барокко.

Наряду с объектами внутри комплекса Александро-Невской Лавры, Л.П. Шишко вместе с гражданским инженером А.А. Венсаном проектирует и осуществляет строительство доходного дома со встроенными помещениями на территории, принадлежащей Лавре (Невский проспект, дом 153) (рис. 3). Это достаточно протяженный участок по Невскому проспекту, поэтому, решая пластику фасада нового здания, архитекторы делят его на три части, границами которых служат активно выступающие эркеры [9].



Рис. 3. Л.П. Шишко, А.А. Венсан. Доходный дом (Невский проспект, дом 153). Фото автора
Fig. 3. L.P. Shishko, A.A. Vincent. Apartment building (153 Nevsky Prospekt). Photo of the author

Конец XIX – начало XX века является временем активизации строительной деятельности. Следует отметить, что здания этого периода в основном и формируют историческую среду наших городов. В начале XX в. Л.П. Шишко поступают заказы от частных лиц на строительство доходных домов. Им были построены: доходный дом М.А. Стенбок-Фермор (Загородный пр., 44/2, 1902–1903 гг.), доходный дом по адресу ул. Серпуховская, 32 (1911 г.), доходный дом по Днепропетровскому проспекту, 14 (1912 г.) [10]. Кроме этого, Л.П. Шишко проектирует загородные дома, в основном в поселке Ольгино, где со временем архитектор строит и собственный дом. О его внешнем виде можно судить по дому на

ул. Вокзальной, 3, который возводился по тому же проекту (по просьбе хозяина).

Еще в 1897 г. Л.П. Шишко приглашают на работу в Институт инженеров путей сообщения³, где он привлекается не только к преподавательской и научной, но и к проектной деятельности. Л.П. Шишко участвует в проектировании технического железнодорожного училища при Александровском заводе [10] и больницы железнодорожных служащих⁴.

Важной страницей творчества Л.П. Шишко является проектирование зданий учебных заведений [11]. В период 1909–1911 гг. Л.П. Шишко служил в Департаменте народного просвещения. Его работы в части проектирования школьных зданий являются ценней-

³ЦГИА СПб. Ф. 1480. Оп. 7. Д. 1868.

⁴ЦГА СПб. Ф. Р-2881. Оп. 31. Д. 1094.

шим вкладом в отечественную архитектуру 1910-х гг.

Вторую половину XIX – начало XX вв. можно назвать временем становления отечественной системы образования. Были проведены реформы народной образовательной системы, а также выпущены законодательные акты, направленные на ее совершенствование [12]. Со второй половины XIX в. в Российской империи разрабатывались проекты повышения образования населения различного уровня, а к началу XX в. на высшем правительственном уровне решался вопрос о введении всеобщего обучения. Эти мероприятия потребовали разработки принципиально новых типов зданий школ и гимназий. Одновременно это стало возможным с переходом на финансирование начального и среднего обучения за счет государственных средств. Результатом стало развернувшееся строительство школьных зданий. Реформы коснулись и подходов к проектированию зданий учебного назначения. В 1907 г. были опубликованы Санитарные требования Министерства народного просвещения [13], которыми необходимо было руководствоваться при проектировании подобных сооружений. На IV съезде зодчих вопрос школьного строительства вызвал живую дискуссию. Выступая на съезде, Л.П. Шишко, как представитель технико-строительного комитета Министерства народного просвещения, обращал внимание на общероссийские проблемы строительства зданий школ: «Ежегодно в России возникает несколько тысяч новых школ, и в этом деле Министерство народного просвещения, отпускающее на школьное строительство около 10 миллионов в год, является не столько хозяином, сколько помощником земства и общества». Л.П. Шишко отмечал важную роль земства как «учреждения ближе других стоящего к нуждам местных районов», считал, что привязка типовых проектов зданий школ должна соотноситься с местными условиями по характеру освещенности, строительных материалов, устройства вентиляции и инженерных систем [14]. Проекты зданий учебных заведений самого Л.П. Шишко по сей день признаются лучшими в Петербурге. Это городское начальное училище в Рыбацком (1908–1909 гг.); Царскосельское четырехклассное мужское училище (1910–1911 г., Бульварная улица, дом 18); 2-я гимназия им. Александра I (1909–1913 гг., Казанская улица, дом 27); 3-я гимназия (1912–1913 гг., Соляной переулок, дом 12); 11-я мужская гимназия (1913–1914 гг.,

Выборгская ул., дом 3). В 1914–1916 гг. Л.П. Шишко осуществил проектирование и строительство спортивного комплекса при 1-й Санкт-Петербургской классической гимназии, по адресу Социалистическая (Ивановская) улица, 7/11. Само здание гимназии было построено в 1893–1894 гг. по проекту В.А. Косякова. Для проектирования спортивной части гимназии Л.П. Шишко изучал строительство подобных зданий за границей.

Следует отметить, что проект Л.П. Шишко соответствовал новейшим достижениям инженерной мысли того времени. Чаша бассейна была запроектирована 27,5 м в длину, ее оснастили подсветкой для занятий подводным плаванием, сделали подогреваемые полы и ножные ванны. На втором ярусе здания расположилась смотровая галерея. Во дворе была пробурена артезианская скважина. Здание было возведено в неоклассическом стиле, с тремя мощными пилонами, с роскошным вестибюлем в виде ротонды с ионическими колоннами. Спортивный комплекс состоял из бассейна и гимнастического зала, которые разместили в отдельных корпусах. Бассейн предназначался для воспитанников средних и высших учебных заведений и был рассчитан на две тысячи пловцов в день. Хотя строительство комплекса завершилось к 1916 г., открыть его до революции так и не успели. Торжественное открытие состоялось в юбилейную годовщину революции, в ноябре 1927 г. В настоящее время в данном здании размещен плавательный бассейн «Юность» [15].

По формам и деталям школьных зданий всегда можно узнать почерк автора – гражданского инженера Л.П. Шишко. Здания гимназий автором решаются в формах «модернизированной классики» [13]. Четкие членения, большие окна, отвечающие расположению классов. На фасаде главный зал всегда отмечен повышенным объемом, что придает дополнительную выразительность силуэту. Л.П. Шишко рассматривал учебное заведение как храм науки и культуры, поэтому в проектах стремился преодолеть казенную официальность, присущую этим зданиям (рис. 4). Для них характерны такие детали, как: гранитный цоколь, активная рустовка первого этажа и пилястр на последующих этажах, отделка плиткой или лицевым кирпичом стен в сочетании со штукатуркой, активная профилировка элементов поэтажных тяг, пропорционально выстроенные детали завершения окон и силуэта здания.



Рис. 4. Л.П. Шишко. 3-я гимназия (1912–1913 гг., Соляной переулок, 12)⁵
Fig. 5. L.P. Shishko, 3rd gymnasium (1912–1913, Solyanoi alley, 12)

Не случайно Л.П. Шишко уделяет особое внимание детализировке зданий. В 1904 г. вышла в свет книга немецкого автора А. Браузеветтера «Архитектурные формы гражданских построек». Книга была издана в России в переводе К.В. Наумова и под редакцией Л.П. Шишко. Основанная на немецком архитектурном материале, она содержала чертежи зданий, их фрагментов, детали. Некоторая оторванность издания от российской архитектурной практики подвигла Л.П. Шишко к выпуску аналогичного альбома, где примерами служили здания, построенные в конце XIX – начале XX вв. в Российской империи. Эта книга «Архитектурные формы и детали. Обработка кирпичных и оштукатуренных фасадов: пособие при проектировании фасадов зданий» была выпущена в 1906 г. в Технологическом институте, а ее автором, помимо Л.П. Шишко, стал гражданский инженер А.А. Венсан [16]. В издании изображены детали зданий: архитектурные обломы, колонны, антаблементы и их украшение, орнаментика кирпичных стен, формы, пропорции и оформление оконных и дверных проемов. Приводились удачные примеры их сочленения и использования в проектировании зданий различного назначения (гражданские и промышленные) и стилистики

(неоготика и неоклассицизм). Анализ архитектурных деталей, проведенный Л.П. Шишко, позволил ему мастерски овладеть детализировкой и искусно применять ее в архитектурных проектах.

Работая в Технологическом институте, Л.П. Шишко проектировал производственные здания и сооружения для института совместно с архитектором А.П. Максимовым: здания инженерной лаборатории, котельной и кузницы; инженерно-механическую и химико-технологическую лаборатории. Еще в начале строительной практики Л.П. Шишко одним из первых стал применять пористые цементно-известковые растворы, которые являются более прочным связующим материалом в северных климатических условиях, обеспечивающих быструю просушку стен и их естественную вентиляцию. Также он считал целесообразным при возведении малоэтажных зданий применять бетонные пустотелые камни, которые облегчали конструкцию и являлись хорошим теплоизоляционным материалом. Эти технологические и строительные приемы инженер использовал при строительстве и реконструкции зданий технологического института.

К Л.П. Шишко обращались и для разработки проектов промышленных предприятий⁶.

⁵ Фото из сети интернет. URL: https://p3.citywalls.ru/photo_489-501671.jpg?mt=1620057285 (17.06.2021).

⁶ ЦГИА СПб. Ф. 478. Оп. 23. Д. 326.

При проектировании этих сооружений, по мнению архитектора, важнейшей являлась установка качественных вентиляционных систем. Он исследовал зарубежный опыт организации инженерного оборудования и предлагал свои решения по организации систем вентиляции промышленных предприятий. Следствием этой работы стали труды Л.П. Шишко, посвященные данной теме: «Вентиляция и отопление фабричных зданий», «Вентиляционные установки промпредприятий», а также перевод с немецкого «Справочника по центральному отоплению, водоснабжению и вентиляции» (авторы Г. Клиндер, И. Риттер).

В предисловии к книге «Вентиляция и отопление фабричных зданий» Л.П. Шишко

пишет: «В настоящем труде мы постараемся, отодвигая на второй план теоретические выкладки, показать общие гигиенические условия, которым должны удовлетворять фабрично-заводские помещения, и существующие для этой цели приспособления, появившиеся в последние годы, с точки зрения их преимуществ и недостатков, выявленных на практике» [17]. Издание снабжено многочисленными иллюстрациями, показывающими принципы монтажа и работы оборудования.

Столь же основательным было исследование Л.П. Шишко устройства канализации Санкт-Петербурга (рис. 5).



Рис. 5. Расположение главных коллекторов, насосных и очистных станций (из книги Л.П. Шишко 1913 г. «Проект канализации г. Санкт-Петербурга. Ч. 1»)

Fig. 5. The location of the main collectors, pumping and treatment stations (from the book by L.P. Shishko 1913 "The sewerage project of St. Petersburg. Part 1")

После революции 1917 г. Л.П. Шишко также активно проектирует и строит. Его приглашают в качестве конструктора и технолога для проектирования технологически сложных и конструктивно уникальных объектов: цехов фабрики «Красное знамя», корпусов заводов «Электросила», «Красный Путиловец», Балтийского и Обуховского заводов, Невского химкомбината, магнитогорских металлургических заводов.

Большой опыт работы в качестве инженера и технолога позволяет Л.П. Шишко выступать в качестве постоянного консультанта и эксперта в Ленсовете, в его Техническом управлении, а также участвовать в экспертизах по сложнейшим зарубежным техническим проектам: в частности, в экспертизе по проекту строительства тоннеля под Ла-Маншем между Францией и Англией.

В годы Великой Отечественной войны Л.П. Шишко остается в Ленинграде, продолжая работать, он руководит лабораторией, выполнявшей оборонные заказы, проектирует бомбоубежища. По заданию Октябрьской железной дороги Л.П. Шишко и А.А. Сурин осуществили проект поезда-летучки для ведения восстановительных работ на железной дороге.

Три поезда, построенные по проекту инженеров, действовали все 900 дней ленинградской блокады⁷.

Л.П. Шишко погиб на своем рабочем месте, в доме в Ольгино, 1 августа 1943 г. при бомбардировке⁸. Он похоронен на Лахтиском кладбище [18].

Смерть Л.П. Шишко стала невосполнимой утратой, что подтверждает сообщение о его трагической гибели, наряду с фронтовыми сводками, в «Ленинградской правде» от 6 августа 1943 г.

Заключение

Анализ творческого пути гражданского инженера Льва Петровича Шишко позволяет сделать следующие выводы:

1. Профессиональный путь Л.П. Шишко начинается с творческого поиска себя как зодчего, поэтому не случайным является его участие в конкурсном проектировании, которое позволяет выявить лучшее предложение вследствие независимого судейства. И то, что решения Л.П. Шишко и А.П. Максимова были столь высоко оценены, имело большое значение.

2. Основными направлениями проектно-строительной работы гражданского инженера Л.П. Шишко являлось строительство зданий духовных учреждений, сооружений Николаевской железной дороги, школ и других общеобразовательных учреждений, доходных и частных домов, промышленных предприятий. Практика Л.П. Шишко охватывала как столицу, так и другие города России: Великий Новгород, Тверь, Томск.

3. В архитектуре конца XIX – начала XX вв. преобладает эклектическая стилистика. Для зодчих этого времени требовалось мастерское владение орнаментикой зданий, использование деталей, относящихся к различным эпохам и стилям. Постепенно у Л.П. Шишко вырабатывается собственный почерк, по которому всегда можно узнать руку зодчего.

4. В каком бы направлении эклектики архитектор ни работал (неоготика, необарокко, неоклассицизм), во всех сооружениях узнаваем почерк архитектора по компоновке масс и детализировке.

Всем зданиям присущи следующие формы и детали: гранитный цоколь, активная рустовка первого этажа и пилястр на последующих этажах, отделка плиткой или лицевым кирпичом стен зданий в сочетании со штукатуркой, профилировка элементов поэтажных тяг, пропорционально выстроенные детали завершения окон и силуэта здания.

5. В вопросах проектирования, решения конструктивных и технологических задач, которые стояли перед Л.П. Шишко, можно отметить фундаментальное изучение стоящих перед ним вопросов. Это касается и проектирования школьных зданий, и устройства спортивного комплекса, и решений по обеспечению инженерным оборудованием промышленных предприятий, и разработки системы канализования городских территорий.

Результатом решения эти вопросов, подкрепленных анализом зарубежного опыта проектирования, становился выпуск научной литературы, позволяющей другим проектировщикам быть в курсе современных тенденций технологических, конструктивных и инженерных решений.

6. Можно отметить следующие принципы, которые легли в основу инженерных и технологических решений инженера Л.П. Шишко:

⁷ Лучшие представители ЛИИЖТа. Дороге жизни и Дороге Победы [Электронный ресурс]. URL: http://korenev.org/index.php/ru/?catid=19&id=142&Itemid=179&option=com_content&view=article (17.06.2021).

⁸ ЦГА СПб. Ф. Р-8557. Оп. 6. Д. 1066.

– принцип строительного-технологического оптимизации: применение пористых быстрохватывающихся растворов, пустотелых камней при строительстве малоэтажных зданий;

– принцип совершенствования технологических решений при оборудовании зданий системами центрального отопления, водоснабжения и вентиляции;

– принцип целесообразности экономических решений. Делясь опытом в этом направлении с коллегами, Л.П. Шишко выпустил ряд книг по строительным нормам, определению количества рабочей силы и

материалов для ремонта и производства строительных работ;

– принцип совершенствования функционально-производственной системы, который применялся при строительстве сложных в функциональном отношении зданий (производственных сооружений технологического института, промышленных сооружений, спортивного комплекса с бассейном).

7. Фундаментальные знания и значительный опыт позволили Л.П. Шишко достичь признания не только на родине, но и в международных кругах специалистов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юбилейная книга СПбГАСУ. СПб.: Арт-Принт, 2002. 386 с.
2. 75-летие Института гражданских инженеров // Зодчий 1997. № 1. С. 1–9.
3. Проект дешевых квартир для Товарищества Российско-Американской Мануфактуры // Зодчий. 1997. № 7. Лист 1.
4. Отзыв жюри по конкурсу на составление проекта дешевых квартир для Товарищества Российско-Американской Мануфактуры // Зодчий. 1997. № 5. С. 38–40.
5. Конкурсный проект Вокзала для г. Таганрога // Зодчий. 1997. № 9. Лист 2.
6. Пунин А.Л. Архитектура Петербурга середины и второй половины XIX в. СПб.: Коло, 2014. 600 с.
7. Гинзбург А.М., Кириков Б.М. Архитекторы-строители Санкт-Петербурга середины XIX – начала XX века: справочник. СПб.: Пилигрим, 1996. 395 с.
8. Чеснокова А.Н. Парадный въезд в новую страницу // Невский проспект. Л.: Лениздат, 1985. 208 с.
9. Заварихин С.П. Санкт-Петербург. Архитектурные сюжеты. СПб.: НП-Принт, 2012. 447 с.
10. Лев Шишко // Зодчие Санкт-Петербурга XIX – начала XX века / сост. В.Г. Исаченко. СПб.: Лениздат, 2000. 1070 с.

11. Смирнов В.В. Школы и школьные здания. Санкт-Петербург: БЛИЦ, 2003. 144 с.
12. Овсянникова А.А. Система народного образования Российской империи во второй половине XIX – начале XX веков // Социально-политические науки. 2017. № 2. С. 95–99.
13. Санитарные требования при составлении проектов зданий средних учебных заведений Министерства народного просвещения // Зодчий. 1907. № 7. С. 55–58.
14. На IV съезде русских зодчих // Зодчий. 1911. № 8. С. 88–90.
15. Золотарева М.В. Гражданский инженер Лев Петрович Шишко // Архитектурный альманах. 2017. Вып. 2. С. 56–67.
16. Шишко Л.П., Венсан А.А. Архитектурные формы и детали. Ч. 1: Обработка кирпичных и оштукатуренных фасадов: пособие при проектировании фасадов зданий. СПб.: Типолитография П.Т. Ревина, 1906. 14 с., 104 л. черт.
17. Шишко Л.П. Вентиляция и отопление фабричных зданий: монография. СПб., 1915. 85 с.
18. Имена на карте Ленинградской области 2013 г.: краеведч. календарь / сост. И.А. Воронова, Н.П. Махова. СПб., 2012. 143 с.

REFERENCES

1. Anniversary book of SPbGASU. St. Petersburg: Art-Print; 2002. 386 p. (In Russ.).
2. 75th Anniversary of the Institute of Civil Engineers. *Zodchii* 1997;1:1-9. (In Russ.).
3. Project of cheap apartments for the Russian-American Manufacture Partnership. *Zodchii*. 1997;7:1. (In Russ.).

4. Review of the jury on the competition for the design of cheap apartments for the Russian-American Manufacturing Partnership. *Zodchii*. 1997;5:38-40. (In Russ.).
5. Competitive project of the Railway Station for Taganrog. *Zodchii*. 1997;9:2. (In Russ.).
6. Punin AL. The architecture of St. Petersburg in the middle and second half of the 19th centu-

- ry. St. Petersburg: Kolo; 2014. 600 p. (In Russ.).
7. Ginzburg AM, Kirikov BM. Architects-builders of St. Petersburg in the middle of the XIX – beginning of the XX century: a reference book. St. Petersburg: Pilgrim; 1996. 395 p. (In Russ.).
8. Chesnokova AN. Front entrance to a new page. *Nevskii prospekt*. Leningrad: Lenizdat; 1985. 208 p. (In Russ.).
9. Zavarikhin SP. St. Petersburg. Architectural subjects. St. Petersburg: NP-Print; 2012. 447 p. (In Russ.).
10. Lev Shishko. *Zodchie Sankt-Peterburga XIX – nachala KhKh veka*. St. Petersburg: Lenizdat; 2000. 1070 p. (In Russ.).
11. Smirnov VV. Schools and school buildings. St. Petersburg: BLITs; 2003. 144 p. (In Russ.).
12. Ovsyannikova AA. The system of public education of the Russian empire in the second half of the XIX - early XX centuries. *Sotsial'no-politicheskie nauki = Sociopolitical Sciences*. 2017;2:95-99. (In Russ.).
13. Sanitary requirements in the preparation of projects for buildings of secondary educational institutions of the Ministry of Public Education. *Zodchii*. 1907;7:55-58. (In Russ.).
14. At the IV Congress of Russian Architects. *Zodchii*. 1911;8:88-90. (In Russ.).
15. Zolotareva MV. Civil engineer Lev Petrovich Shishko. *Arkhitekturnyi al'manakh*. 2017;2:56-69. (In Russ.).
16. Shishko LP, Vensan AA. Architectural forms and details. Part 1: Processing brick and plastered facades: a guide for the design of building facades. St. Petersburg: Tipolitografiya P.T. Revina; 1906. 14 p., 104 sheets of drawings. (In Russ.).
17. Shishko LP. Ventilation and Heating of Factory Buildings: monograph. St. Petersburg, 1915. 85 p. (In Russ.).
18. Voronova IA, Makhova NP (comp.). Names on the map of the Leningrad region 2013: local history calendar. St. Petersburg, 2012. 143 p. (In Russ.).

Сведения об авторах

Золотарева Милена Владимировна, кандидат архитектуры, доцент кафедры истории и теории архитектуры, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 190005, Санкт-Петербург, ул. 2-ая Красноармейская, 4, Россия, e-mail: goldmile@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5549-7769>

Пономарев Александр Валентинович, старший преподаватель кафедры истории и теории архитектуры, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-ая Красноармейская, 4, Россия, e-mail: arbi@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3290-3285>

Заявленный вклад авторов

Золотарева М. В. и Пономарев А. В. владеют авторскими правами на статью.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors

Milena V. Zolotareva, PhD in Architecture, associate professor, associate professor department of history and theory of architecture, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, 4 2nd Krasnoarmeyskaya Str., St. Petersburg 190005, Russia, e-mail: goldmile@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5549-7769>

Aleksandr V. Ponomarev, Senior lecturer of the Department of History and Theory of Architecture, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, 4 2nd Krasnoarmeyskaya Str., St. Petersburg 190005, Russia, e-mail: arbi@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3290-3285>

Contribution of the authors

Zolotareva M. V. and Ponomarev A. V. own the copyright of the article.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests.

Статья поступила в редакцию 30.06.2021.
Одобрена после рецензирования 27.07.2021.
Принята к публикации 28.07.2021.

The article was submitted 30.06.2021.
Approved after reviewing 27.07.2021.
Accepted for publication 28.07.2021.

**Регенерация исторической деревянной городской среды:
практика реставрации и перемещения объекта культурного наследия**

© П. Е. Пуляевский, М. Г. Захарчук

Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Резюме: Иркутск – город, сохранивший самобытную деревянную застройку XIX – начала XX столетий, в котором располагаются и деревянные улицы, и целые кварталы, которые являются культурным наследием, что повышает интерес к столице Восточной Сибири в историко-архитектурном отношении. Однако срок службы деревянных сооружений невелик, и в настоящее время, когда деревянная застройка, характерная для сибирских городов и насчитывающая десятки лет истории, находится на грани исчезновения, возрастает актуальность сохранения памятников архитектуры. Цель работы заключается в изучении проблем реставрации и перемещения деревянного дома, ранее располагавшегося в г. Иркутске по адресу ул. Гаврилова, 3, состоящего в Списке недвижимых памятников истории и культуры, которые, согласно существующему законодательству, лишь в исключительных случаях могут быть перенесены на другую площадку. Рассматриваются этапы разработки проекта, культурно-исторический контекст историко-архивных исследований, методы реставрации, необходимые для воссоздания первоначального облика объекта деревянного наследия, его перевозка в структуру исторического квартала. Анализ проведенной реставрации и перемещения памятника истории и культуры начала XX века позволяет сделать важный вывод о том, что в конкретной ситуации единственным верным решением для спасения памятника прошлого стал его перенос в родственную среду регенерированного 130-го квартала Иркутска.

Ключевые слова: регенерация, историческая среда, деревянная застройка, реставрация, перемещение, объекты культурного наследия

Для цитирования: Пуляевский П. Е., Захарчук М. Г. Регенерация исторической деревянной городской среды: практика реставрации и перемещения объекта культурного наследия // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2021. Т. 11. № 3. С. 532–543. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-532-543>.

**Regeneration of historic wooden urban realm:
restoration and relocation of a cultural heritage object**

Pavel E. Pulyaevsky, Marina G. Zakharchuk

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract: Irkutsk is a city where an original wooden building of the 19th–early 20th centuries have been preserved. Wooden streets and entire city blocks are a cultural heritage that increases interest in the capital of Eastern Siberia from historical and architectural perspectives. However, the life span of wooden structures is short. Thus, wooden development, characteristic of Siberian cities for decades, is on the verge of extinction. At present, the preservation and restoration of such architectural monuments have become increasingly important. The paper discusses the problems of restoration and relocation of a wooden house, previously located in Irkutsk, Gavrilov street, 3. This building is on the List of Immovable Cultural Monuments, which can only be transferred to another site in exceptional cases following the existing legislation. We considered the stages of project development, the cultural and historical context in history and archives research, restoration methods necessary to reproduce the original appearance of a wooden heritage object, its transportation to the historical block. The analysis of restoration and relocation of the historical and cultural monument built in the early 20th century allows us to draw the following conclusion. In this particular situation, the only correct decision for saving the historic monument was its transfer to the related environment of the regenerated 130 Kwartal in Irkutsk.

Keywords: regeneration, historical environment, wooden building, restoration, relocation, cultural heritage object

For citation: Pulyaevsky P. E., Zakharchuk M. G. Regeneration of historic wooden urban realm: restoration and relocation of a cultural heritage object. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost'* = *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2021;11(3):532-543. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-532-543>.

Введение

Памятники деревянного зодчества – одна из составляющих национального вклада России в мировое культурное наследие, и они очень важны для сохранения культурной идентичности народов нашей страны. Городская идентичность включает в себя архитектурные особенности города и, в частности, историческое наследие.

Актуальность темы предопределена тем, что Иркутск – один из тех немногих городов России, где сохранились массивы средней малоэтажной деревянной исторической застройки, из которой многие здания отнесены к списку объектов культурного наследия [1]. Центральная часть города застроена дореволюционными зданиями и насчитывает 719 деревянных памятников архитектуры. В объектах культурного наследия соединяются историческая, эстетическая и научная составляющие, данные памятники являются общественной ценностью, и проблема их сохранения в наши дни очевидна.

«Памятниками истории и культуры (объектами культурного наследия) являются сооружения, памятные места и предметы, связанные с историческими событиями в жизни народа, развитием общества и государства, произведения материального и духовного творчества, представляющие историческую, научную, художественную или иную ценность» – указано в Федеральном законе «Об объектах культурного наследия (памятников истории и культуры) народов РФ»¹ [2, 3].

В градостроительном документе «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений» сообщается: «К объектам культурного наследия относятся: памятники архитектуры с их территориями, объекты археологического наследия, ансамбли, в том числе фрагменты исторических планировок и застроек поселений, произведения ландшафтной и садово-парковой архитектуры, достопримечательные места. При планировке и застройке следует соблюдать тре-

бования законодательства по охране объектов культурного наследия (памятников истории и культуры), предусматривать решения, обеспечивающие их сохранение, использование их градостроительного потенциала»².

Регенерация в архитектуре – восстановление утраченных частей, композиционной целостности исторических городов или их центров, отдельных архитектурных ансамблей и комплексов, зданий и сооружений. В наши дни вопрос реального осуществления регенерации исторических центров городов стоит особенно остро. Города начали и продолжают терять индивидуальный облик, а следовательно – свой неповторимый образ.

В задачи регенерации входят следующие вопросы: бережное отношение к сложившейся городской среде; поддержка традиционных планировочных и композиционных характеристик среды; увеличение функциональной емкости городской ткани; интенсификация использования городского пространства; восстановление утраченного качества среды; обеспечение непрерывности функционирования в процессе реконструкции³.

«Основными принципами реконструкции кварталов исторического центра являются: сохранение памятников истории, культуры и архитектуры; выявление территориальных ресурсов для создания внутриквартальной системы открытых пространств за счет малоценной застройки; новая планировка квартала, базовыми элементами которой служат памятники и их территории, а также направления и границы, согласно существующим улицам; формирование новой застройки, отвечающей контексту, как архитектурой, так и функционально» [4].

Из признания ценности и нерасторжимости связей, возникающих между памятником и его исторически сложившейся средой, следует правило, что памятник должен сохраняться на своем подлинном месте. Перемещение памятников Венецианская хартия признает недопустимым, за исключением редких случаев,

¹Об объектах культурного наследия (памятников истории и культуры) народов РФ: федер. закон от 25.06.2002 № 73-ФЗ (ред. от 27.12.2018) [Электронный ресурс] // Информационно-правовое обеспечение «Гарант». URL: <https://base.garant.ru/77668279/> (11.08.2021).

²СП 42.13330.2011. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 31-06-200 [Электронный ресурс] // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200084712> (11.08.2021).

³Регенерация в архитектуре [Электронный ресурс]. URL: <http://esteline.ru/termin/3238> (11.08.2021).

когда оно становится необходимым средством их сохранения⁴.

Материал и методы

Материал исследования собран в течение производственной практики на базе научно-исследовательской проектной реставрационной мастерской «Традиция».

«Консервация и реставрация памятников имеет целью сохранение памятника как произведения искусства и как свидетеля истории»⁵ – гласит Международная хартия по консервации и реставрации исторических памятников и достопримечательных мест. А в девятой статье Венецианской хартии указано, что «реставрация должна являться исключительной мерой. Ее цель – сохранение и выявление эстетических и исторических ценностей памятника. Она основывается на уважении подлинности материала и достоверности документов. Археологические и исторические исследования памятника должны всегда предшествовать и сопровождать реставрационные работы»⁶.

Следует понимать, что реставрация – комплексный, многоступенчатый процесс проводящихся на памятниках работ, поэтому методологическая база данного исследования включает в себя научные методы исторических и логических аспектов проблемы, освоение нормативной и научной литературы, изучение научно-проектной документации. Реставрация – это сложный вид архитектурно-строительных работ не только по укреплению объекта, возвращению ему утилитарной функции или музеефикации, но, прежде всего, сохранению его подлинности и выявлению его общекультурного, исторического и художественного значения.

«Реставрация памятника или ансамбля – научно-исследовательские, изыскательские, проектные и производственные работы, проводимые в целях выявления и сохранности

историко-культурной ценности объекта культурного наследия»⁷ [2]. «При разработке научно-проектной документации необходимо руководствоваться федеральными законами и иными нормативными правовыми актами Российской Федерации, законами и иными нормативными актами субъектов Российской Федерации, муниципальными правовыми актами, принятыми в установленном порядке техническими регламентами, национальными и иными стандартами»⁸. При этом «работы по сохранению объекта культурного наследия проводятся в соответствии с реставрационными нормами и правилами, утвержденными федеральным органом государственной охраны объектов культурного наследия»⁹ [5].

Результаты и их обсуждение

Проект реставрации и перемещения памятника истории и культуры начала XX века в городе Иркутске «Дом, в котором в 1909 году под руководством Кирова С.М. проходила забастовка типографских рабочих» выполнен ООО НПРМ «Традиция» под руководством Мироненко Аллы Корнеевны на основании муниципального контракта с МУП «Управление капитального строительства г. Иркутска» и планового реставрационного задания, утвержденного Службой по охране объектов культурного наследия Иркутской области. «Архитектурные, конструктивные, объемно-планировочные, инженерные и технологические решения по реставрации, консервации объекта культурного наследия, приспособлению его для современного использования определяются на основании научных исследований, проведенных до начала выполнения производственных работ»¹⁰. Специалистами мастерской были проведены предварительные работы, комплексные научные исследования и инженерные изыскания, выполнен проект реставрации и рабочая проектно-сметная документация по объекту культурного

⁴Реставрация памятников архитектуры: учеб. пособ. для вузов / под ред. С.С. Подъяпольского. М.: Стройиздат, 2000. 288 с.

⁵Международная хартия по консервации и реставрации исторических памятников и достопримечательных мест [Электронный ресурс] // Информационно-правовое обеспечение «Гарант». URL: <https://base.garant.ru/2570714/> (12.08.2021).

⁶Там же.

⁷Об объектах культурного наследия (памятников истории и культуры) народов РФ: федер. закон от 25.06.2002 № 73-ФЗ (ред. от 27.12.2018) [Электронный ресурс] // Информационно-правовое обеспечение «Гарант». URL: <https://base.garant.ru/77668279/> (11.08.2021).

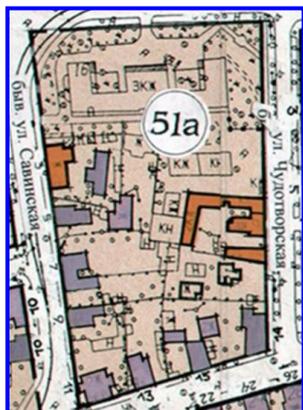
⁸ГОСТ Р 55528-2013. Состав и содержание научно-проектной документации по сохранению объектов культурного наследия. Памятники истории и культуры. Общие требования [Электронный ресурс] // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200104243> (14.08.2021).

⁹Об объектах культурного наследия (памятников истории и культуры) народов РФ: федер. закон от 25.06.2002 № 73-ФЗ (ред. от 27.12.2018) [Электронный ресурс] // Информационно-правовое обеспечение «Гарант». URL: <https://base.garant.ru/77668279/> (11.08.2021).

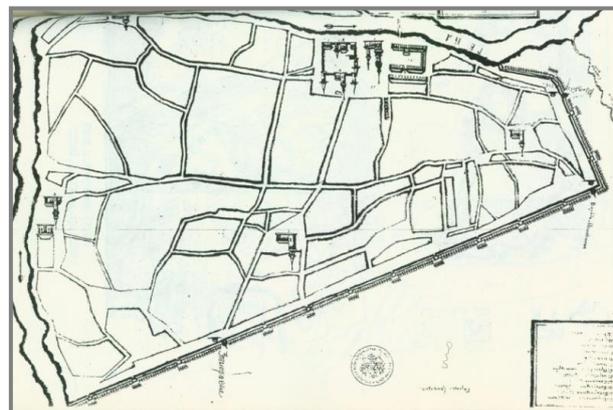
¹⁰СРП-2007. Свод реставрационных правил. Рекомендации по проведению научно-исследовательских, изыскательских, проектных и производственных работ, направленных на сохранение объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов РФ [Электронный ресурс] // Информационно-правовое обеспечение «Гарант». URL: <https://base.garant.ru/6179843/> (14.08.2021).

наследия регионального значения по улице Гаврилова, 3 в городе Иркутске, а также – научно-реставрационный отчет.

Объект исследования, ранее располагавшийся по адресу улица Гаврилова, 3, – одноэтажный деревянный дом, состоящий в Списке недвижимых памятников истории и культуры, подлежащих государственной охране с 2000 г.



a



b

Рис. 1. Квартал № 51а в историческом центре г. Иркутска: *a* – фрагмент схемы опорного плана; *b* – фрагмент проектного плана г. Иркутска, 1729

Fig. 1. Block No. 51a in the historical center of Irkutsk: *a* – fragment of the reference plan scheme; *b* – fragment of the project plan of Irkutsk, 1729

Освоение местности, на которой находилась усадьба, относится к наиболее раннему «посадскому» периоду развития Иркутска и может датироваться концом XVII – началом XVIII веков, там в 1703 году была возведена первая деревянная Чудотворская церковь. Это свидетельствует о такой концентрации населения, которая сделала необходимым строительство в этом месте новой церкви с образованием самостоятельного прихода. Данная территория – наиболее ранняя по времени освоения и лишенная регулирования – застраивалась наиболее стихийно, а жилая застройка формировалась в виде крупных фрагментов, что впоследствии осложнило урегулирование сложившейся градостроительной ситуации.

На Набережной Ангары в этой части Иркутска (рис. 2) находились значимые для города объекты, что говорит о достаточно высоком статусе изучаемого участка, сформировавшегося в конце XIX века. До революции в этом месте сложилась развитая торгово-промышленная зона, возникновение которой было обусловлено близостью к центру города с торговыми рядами и рекой Ангарой с ее формами хозяйственного освоения. Все это обусловило многофункциональное использование территории с возможностями развития деловой активности населения. Отсюда и не-

однородность застройки – от жилых и доходных домов до торгово-промышленных заведений, получивших наибольшее развитие в начале XX века.

Пожар 1879 года, уничтоживший значительную часть Иркутска, опустошил его центральную часть: стихийное бедствие создало возможность введения регулярной планировки для опустевшей части города. Окончательный вариант проектного плана Иркутска 1899 года предполагал «между кварталами улиц Спасо-Лютеранской, Мыльниковской, Чудотворской и Селивановской поместить торговую площадь и именовать ее Кладвищевской» [7]. Но решение не было реализовано, так как градостроительное обоснование готовилось долго, и к моменту принятия проектного плана город начал отстраиваться в существовавших до пожара формах и границах планировочной структуры.

Исследуемый участок претерпел незначительные изменения к моменту появления «послепожарной» застройки, в то же время большинство усадеб рассматриваемого квартала в последующий период прошли через значительную трансформацию в рамках общей тенденции к уменьшению размеров участков и закреплению основного городского типа усадьбы с чередованием крупноформатных, занятых складами участков.

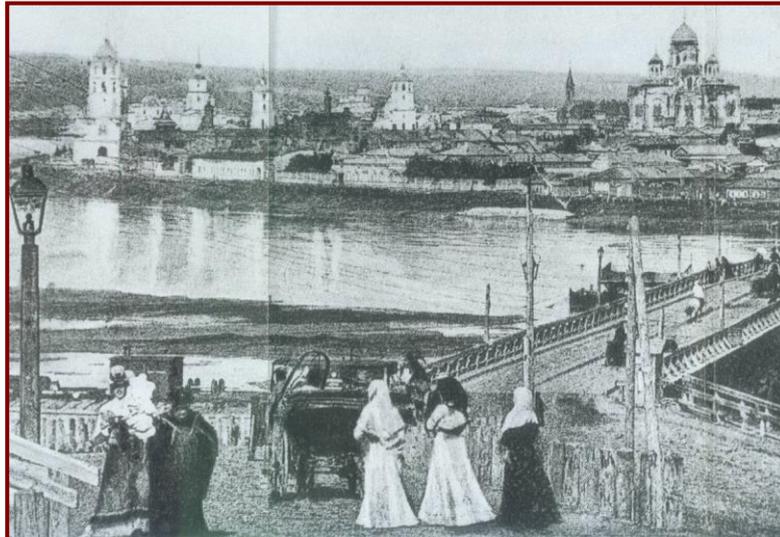


Рис. 2. Вид на Иркутск с Глазковского предместья. Набережная Ангары между Чудотворской церковью и понтонным мостом, начало XX в. [6]

Fig. 2. View of Irkutsk from the Glazkovsky suburb. Angara embankment between the Miracle-Working Church and the pontoon bridge, the beginning of the twentieth century [6]

В архивных документах сообщается о единовременной комплексной застройке усадьбы. В 1901 году владелец – потомственный почетный гражданин Иркутска И.А. Дубровский подал в городскую управу заявление на постройку двух деревянных одноэтажных домов и амбара на принадлежащем ему месте земли на улице Савинской. Эти строения по местоположению совпадают с сохранившимися в

усадьбе постройками, но флигель литер «Б» до настоящего времени дошел как двухэтажный, а главный дом литер «А» – более протяженным вдоль красной линии улицы.

Рассматриваемая усадьба относилась к типу доходных и предназначалась для сдачи жилых помещений в аренду, поэтому с арендаторами менялся и сам дом.



a



b

Рис. 3. Объект культурного наследия усадьба по ул. Гаврилова, 3 до реставрации и перемещения: *a* – юго-западный фасад; *b* – юго-восточный фасад. Фото С.Ю. Коровкина, 2010

Fig. 3. The object of cultural heritage estate on Gavrilova str., 3 before restoration and relocation: *a* – south-western facade; *b* – south-eastern facade. Photo by S.Y. Korovkin, 2010

Так, сравнение проектного и существующего фасадов (рис. 3), а также поэтажных планов здания литер «А» свидетельствует о поздней пристройке правой части и увеличении здания

до разрешенной строительными нормами длине двенадцать саженей для деревянных строений. В период с 1901 по 1915 гг. арендаторы усадьбы менялись четыре раза, а в со-

ветское время количество квартир в доме увеличилось в два раза, и до реставрации оно использовалось как общежитие¹¹.

Задачами определения историко-культурной ценности объекта культурного наследия являлись: атрибуция; уточнение датировки возникновения и связанного с ним события; уточнение мемориальной историко-культурной ценности.

Проведенные комплексные научные исследования не выявили событий, которые бы позволили определить здание по улице Гаврилова, 3 как памятник истории, в котором под руководством С.М. Кирова проходила забастовка, так как выяснилось, что к забастовке типографских рабочих [8] имела отношение другая усадьба, находившаяся на углу улиц Савинской и Спасо-Лютеранской [9]. В том каменном доме размещалась известная в Иркутске типография Казанцева, и владельцем усадьбы являлся И.И. Попов, редактор и издатель газеты «Восточное обозрение». В настоящее время она разделена на несколько участков, имеющих адреса: улица Сурикова, 11, 13 и 15. Так, в Списке недвижимых памятников истории и культуры, подлежащих государственной охране с 2000 г., состоит памятник «Особняк Попова», расположенный по адресу улица Сурикова, 11, в котором находилась типография газеты «Восточное обозрение», где бывали многие народники и марксисты. Факты свидетельствуют о том, что именно в усадьбе И.И. Попова и происходили события, связываемые с усадьбой, расположенной по улице Гаврилова, 3, то есть изначально адрес был определен ошибочно.

Причастность С.М. Кирова к этому сооружению также была исключена как не имеющая под собой основания, так как известно, что после освобождения из томской тюрьмы революционер нелегально прибыл в Иркутск в ноябре 1908 года и несколько дней прожил в доме Шубина «на Спасо-Лютеранской улице, 33» [10, с. 197].

В результате натурных исследований памятника было установлено, что его общее состояние удовлетворительное. Здание представляет собой одноэтажный прямоугольный в плане бревенчатый сруб пятистенок, рубленный «в лапу» без остатка, внутри имеет одну поперечную бревенчатую стену, рубленную «в лапу» без остатка с наружными продольными стенами. С юго-востока к основно-

му сруб примыкает в корыта одноэтажный бревенчатый сруб пристроя, подведенный под одну кровлю с основным, также со стороны двора к нему примыкает еще один одноэтажный прируб с односкатной кровлей [11].

Все стены рублены из бревен, и внутренняя поперечная стена делит здание на два неравных объема. Основной сруб здания и прирубы собраны на ленточном бутовом фундаменте из блоков песчаника, комбинированного с кирпичом. Цокольное перекрытие здания традиционное – плахи, набранные по бревенчатым балкам. Чердачное перекрытие здания решено своеобразно: пролеты основного сруба с пятью балками сложного сечения – в длинную сторону, над балками собрана конструкция из четырех спаренных бревен, опирающихся на поперечные стены сруба. На спаренных бревнах над балками перекрытия уложены опорные бревна, параллельные балкам, к которым своей центральной частью на металлических болтах крепятся балки перекрытия.

Все фасады здания имеют трехчастное деление по вертикали: обшивка надоконной части сруба, горизонтальная обшивка стен сруба в уровне оконного и подоконного пространства и фриз из вертикально набранных досок с профилированным резьбой свесом. Сверху трехчастное убранство фасадов обрамляет двухъярусная пропиленная резьба карниза. Уличный протяженный фасад здания с одиннадцатью оконными проемами визуально разделен на три ризалита, каннелированные пилястрами, имеющими разделку в обшивке фриза. Такие же пилястры обрамляют углы боковых фасадов. Отделка углов дворового фасада более скромная – плоские угловые лопатки.

Окна здания имеют два типа наличников (рис. 4 а, б). Решение наличников уличного фасада традиционное: лобани богато украшены многоярусной резьбой с завершением полусолнцем и акротериями, свес наличника декорирован накладной резьбой и «бриллиантами».

Украшение наличников остальных фасадов лаконично: лучковое навершие лобани с незамысловатым накладным узором. Подоконное поле обшито вертикально набранными калеванными досками, «отбитыми» сверху профилированной тягой. Оконное поле обшито горизонтальной калеванной доской по всем фасадам здания, в местах поздних переделок обшивка заменена на новую.

¹¹Историческая записка к проекту «Дом, в котором в 1909 г. под руководством Кирова С.М. проходила забастовка типографских рабочих по ул. Гаврилова № 3 лит. «А» в г. Иркутске». Иркутск, 2007.



Рис. 4. Объект культурного наследия усадьба по ул. Гаврилова, 3 до реставрации и перемещения: *a* – наличник юго-западного фасада; *b* – наличник северо-восточного фасада; *c* – козырек юго-восточного входа. Фото С.Ю. Коровкина, 2010

Fig. 4. The object of cultural heritage estate on Gavrilova str., 3 before restoration and relocation: *a* – the casing of the south-western facade; *b* – the casing of the north-eastern facade; *c* – is the visor of the southeastern entrance. Photo by S.Y. Korovkin, 2010

Элементы декора украшают все фасады здания с небольшими упрощениями по дворовому.

Фриз набран из вертикальных досок с пропиленной резьбой по свесу, над резьбой пропущен декоративный пояс с зубцами, вертикальные стыки закрыты точеными полубалясинами, над пилястрами обшивка фриза име-

ет разделку (рис. 5). По подзору карниза пропущены два ряда пропиленной резьбы – геометрический рисунок с циркульными членениями и «сухарик».

Главный вход на юго-восточном фасаде обрамлен тектоничным декорированным козырьком (рис. 4 *c*), а крыльца здания были утрачены из-за высоты культурного слоя.



Рис. 5. Объект культурного наследия усадьба по ул. Гаврилова, 3 до реставрации и перемещения: *a* – пропиленная резьба карниза; *b* – раздел фриза под пилястру юго-западного фасада; *c* – декоративный фриз. Фото С.Ю. Коровкина, 2010

Fig. 5. Cultural heritage site manor on the street. Gavrilova, 3 before restoration and relocation: *a* – sawing thread of the cornice; *b* – section of the frieze for the pilaster of the southwestern facade; *c* – decorative frieze. Photo by S.Yu. Korovkina, 2010

Сохранилась металлическая обшивка одной из печных труб – интересный и самобытный элемент декора.

По сравнению с богатством оформления фасадов здания, нетрадиционно и скупо выглядело оформление интерьеров: стены и по-

толки гладко оштукатурены по драни без тяг и плафонов¹².

Главный архитектор проекта Сергей Юрьевич Коровкин разработал рабочую документацию по реставрации первоначально облика здания и перемещению его в 130-й квартал города Иркутска с последующим приспособлением здания под выставочные залы краеведческого музея. «Наделение памятников той или иной современной функцией создает необходимые условия для их постоянного поддерживания и сохранения»¹³. «Проект приспособления объекта культурного наследия является частью проекта реставрации, в процессе разработки которого согласовываются основные положения проекта приспособления. Это необходимо для предотвращения пересмотра полученных результатов реставрации в процессе приспособления и, как следствие, дополнительных утрат подлинных элементов»¹⁴. В здании проектировалось два входа – парадный и служебный с тамбуром и деревянными консольными козырьками, а также выход на галерею непосредственно из помещений с дверным проемом на месте одного из оконных. Так как место перемещения здания в 130-й квартал находится на рельефе с перепадом высот в полтора метра, было предложено устройство цокольного этажа, сообщаемого с первым через тамбур-шлюз и лестничной марш с эвакуационным выходом на улицу.

В планировке самого памятника проектом предлагался монтаж двух дополнительных несущих стен, являющихся перерубами для протяженных фасадов здания и конструктивной опорой для чердачного перекрытия, отвечающего действующим нормам антисейсмического строительства.

В отделке фасадов здания предусматривалась очистка сохранившихся наличников, фриза и пилястр от наслоений краски и поверхностной гнили; воссоздание утраченных элементов декора наличников и ставней; изготовление в новоделе наличников дворового пристроя, коробок и полотен входных две-

рей, калеванной обшивки наружных стен фасадов, недостающих фрагментов фриза и пилястр, фигурных столбов и ограждения галереи, утраченных участков резьбы, подшивки и тяг карниза; устройство на крыше имитационных печных труб с дымниками; навеска по углам здания и пристроя водосточных труб с декоративными навершиями [11]. Подключение к коммуникационным сетям решалось в соответствии с инженерным обеспечением всего исторического 130-го квартала. Благоустройство территории также предлагалось осуществить совместно с генпланом всего комплекса с использованием единого тротуарного покрытия, типа газонов, ограждающих бордюров, подпорных стенок. Перед входами в здание – устройство площадок с мощением тротуарной плиткой и наружной лестницы с уровня «променада» на уровень дворовой территории памятника, а также отмостки вокруг здания. Все работы по перемещению, воссозданию внешнего облика и приспособлению памятника выполнялись двумя организациями: генеральным подрядчиком ООО «Предприятие Иркут-Инвест» и субподрядчиком ООО «Реставрационно-строительная фирма “Идеал-Строй”». Заказчиком являлся ОГАУ «Центр по сохранению историко-культурного наследия Иркутской области», непосредственное участие в приспособлении здания под музей и оформлении интерьеров принимал ГАУК «Иркутский областной краеведческий музей» (рис. 6).

В соответствии с проектом реставрации, прошедшим историко-культурную экспертизу, утвержденную Службой по охране объектов культурного наследия Иркутской области, и рабочим проектом, разработанным на его основании, а также с проектным предложением о приспособлении здания под музейную экспозицию «Окно в Азию», согласованным ГАУК ИОКМ, были произведены следующие виды работ:

– в соответствии с маркировочными чертежами промаркированы и демонтированы декоративные элементы фасадов;

¹²Проект реставрации и приспособления. Памятник истории и культуры начала XX века «Дом, в котором в 1909 г. под руководством С.М. Кирова проходила забастовка типографских рабочих» по ул. Гаврилова, 3 в г. Иркутске. Пояснительная записка. Описание существующего облика здания / ООО НПРМ «Традиция». Иркутск, 2011.

¹³Реставрация памятников архитектуры: учеб. пособ. для вузов / под ред. С.С. Подъяпольского. М.: Стройиздат, 2000. 288 с.

¹⁴СРП-2007. Свод реставрационных правил. Рекомендации по проведению научно-исследовательских, изыскательских, проектных и производственных работ, направленных на сохранение объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов РФ [Электронный ресурс] // Информационно-правовое обеспечение «Гарант». URL: <https://base.garant.ru/6179843/> (14.08.2021).

– после снятия обшивки фасадов и внутреннего штукатурного слоя промаркированы венцы стен сруба с внесением поправок в маркировочные схемы по фактическому состоянию стен и стропильной конструкции;

– выполнена реставрационная разборка здания и перевозка конструктивных и декоративных элементов здания на место сборки;

– возведен железобетонный цокольный этаж с последующей установкой утеплителя и облицовкой кирпичом стен, выступающих из планировочного уровня земли;

– собран основной сруб здания с очисткой от поражения гнилью, обработкой антигрибковыми и антипирентными растворами венцов с заменой сгнивших на новодел;

– установлены балки чердачного перекрытия и собрана из нового материала усиленная стропильная конструкция, соответствующая современным нормативам, а также металлическое покрытие кровли;

– воссоздана наружная отделка фасадов;

– проведено необходимое инженерное благоустройство.



Рис. 6. Квартал № 130, г. Иркутск. Объект культурного наследия после реставрации и перемещения.
Фото П.Е. Пуляевского, 2021

Fig. 6. Block No. 130, Irkutsk. An object of cultural heritage after restoration and relocation.
Photo by P.E. Pulyevsky, 2021

Заключение

Работы по перемещению, реставрации и приспособлению памятника истории и культуры начала XX века под выставочные залы Иркутского областного краеведческого музея и, в том числе, реабилитации к современным условиям жизни выполнены на хорошем профессиональном уровне.

Авторы проекта, прежде чем приступить к проектированию, провели предварительные работы и серьезные научно-исторические изыскания для обеспечения максимальной достоверности воссоздаваемой усадьбы, в

том числе при разработке проекта реставрации и перемещения использовалась созданная ранее документация:

1. Экспертное заключение об историко-культурной ценности объекта «Дом, в котором в 1909 г. под руководством Кирова С.М. проходила забастовка типографских рабочих» по улице Гаврилова, 3, лит. «А» в г. Иркутске, выполненное ООО НПРМ «Традиция».

2. Изучение историко-культурной ценности объекта культурного наследия, расположенного по адресу: г. Иркутск, улица Гаврилова, 3, лит. «А», выполненное ОГУ «Центр по сохра-

нению историко-культурного наследия Иркутской области».

3. Проект планировки регенерации исторической застройки квартала № 130 (в границах улиц 3-го июля, Седова, Кожова) в г. Иркутске, выполненный ОАО «Иркутскгражданпроект».

Анализ историко-архивных и библиографических исследований показал, что исследуемый объект ошибочно внесен в Список недвижимых памятников истории и культуры, подлежащих государственной охране, как «Дом, в котором в 1909 г. под руководством Кирова С.М. проходила забастовка типографских рабочих» и не имеет мемориального историко-культурного значения. Также на период обследования объекта культурного наследия в квартале № 51а была полностью утрачена историческая застройка, выходящая на ул. Гаврилова (бывшая Савинская) и Сурикова (бывшую Спасо-Лютеранскую), вместо ко-

торой было построено здание роддома, вследствие чего усадьба на ул. Гаврилова стала первой от угла. Сегодня историческая часть города, образованная улицами Гаврилова, Сурикова, Богграда и Чкалова, является конгломератом разнохарактерной застройки и не представляет собой идентичную целостность, которая является главным критерием оригинальных качеств архитектурной среды (рис. 7).

Согласно существующему законодательству, объекты культурного наследия лишь в исключительных случаях могут быть перенесены на другую площадку. Но в данной ситуации единственным верным решением для спасения памятника прошлого стал его перенос в родственную среду 130-го квартала, где памятник архитектуры будет доступен для обзора и посещения (рис. 8).



Рис. 7. Ул. Гаврилова, г. Иркутск. Фото П.Е. Пуляевского, 2021
Fig. 7. Gavrilova St., Irkutsk. Photo by P.E. Pulyevsky, 2021

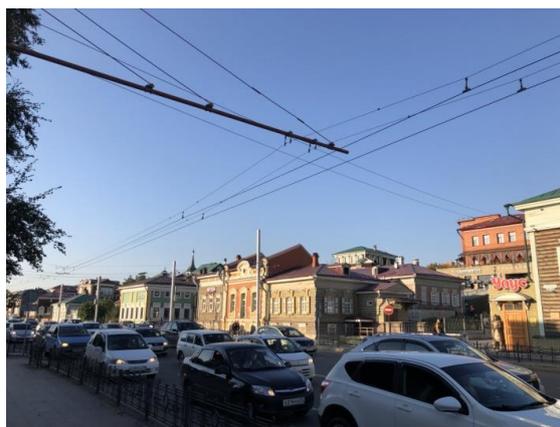


Рис. 8. Квартал № 130, г. Иркутск. Фото П.Е. Пуляевского, 2021
Fig. 8. Block No. 130, Irkutsk. Photo by P.E. Pulyevsky, 2021

Чтобы сберечь историческую среду, нужно сделать ее жизнеспособной, а для этого следует ее сохранять и регенерировать. Проектом реконструкции 130-го квартала были вы-

делены проектные и исполнительские задачи: реставрация памятников; реконструкция средовых объектов; перенос памятников с других мест; «новодел» (изготовление деревянных

домов в полном соответствии со старой технологией и в полном соответствии с внешним видом исторических построек по чертежам, снятым с других памятников); новые современные строительные объемы [12]. Подход в отношении деревянных зданий на территории реконструируемого квартала заключался в следующем: все ценные сооружения должны сохраняться и реставрироваться, а здания, не являющиеся памятниками, но играющие роль средовых объектов, на основании решения органов охраны либо восстанавливаться как средовые, либо в исключительных случаях заменяться на переносимые с других мест.

Разработанная концепция регенерации квартала № 130 стала поворотным пунктом в отношении к деревянному Иркутску. В целостном фрагменте исторической среды было досконально решено проектное предложение по культурной программе общественного пространства, продумано функциональное наполнение и транспортная организация, проведена реставрация зданий, оптимизация инженерных систем, строительство дополнительных объектов и благоустройство. Ведь задача регенерации исторической городской среды – возрождение средовой деревянной застройки для сохранения неповторимого лица исторического города.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Третьякова Н.М., Меерович М.Г. Неорусский стиль в наличниках деревянной гражданской архитектуры г. Иркутска XVIII–XIX вв. // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2014. Т. 6. № 11. С. 132–138.
2. Гуделина Г.Ю., Захарчук М.Г. Реставрация деревянных зданий // Молодежный вестник ИрГТУ. 2018. Т. 8. № 1. С. 83.
3. Конщин М.С., Захарчук М.Г. Проблемы реставрации объектов культурного наследия в историческом квартале Иркутска // Молодежный вестник ИрГТУ. 2016. № 2. С. 15.
4. Большаков А.Г. Городские ландшафты исторического центра Иркутска: принципы реконструкции // Проект Байкал. 2009. № 20. С. 141–144.
5. Сыч Е.Р., Захарчук М.Г. Особенности применения строительных норм и правил при реставрации объекта культурного наследия // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2019. Т. 9. № 2. С. 438–451. <http://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-2-438-451>.
6. Медведев С.И. Иркутск на почтовых открытках 1899–1917: Историко-библиографический альбом-каталог. М.: Галарт, 1996. 641 с.
7. Иркутская летопись 1661–1940 гг. / сост., авт. предисл. и примеч. Ю. П. Колмаков. Иркутск: Оттиск, 2003. 848 с.
8. Попов И.И. Забытые иркутские страницы: Записки редактора. Иркутск: Восточно-Сибирское книжное издательство, 1989. 384 с.
9. Справочник по городу Иркутску и Иркутской губернии. Иркутск: Изд. В.Ф. Хардина и И.И. Серебренникова, 1915. 226 с.
10. Терновая И.И. Памятники политической борьбы конца XIX – нач. XX вв. // Памятники истории и культуры Иркутска. Иркутск: Восточно-Сибирское книжное издательство, 1993. 447 с.
11. Коровкин С.Ю. Жилой дом. Реставрация и приспособление памятника истории и культуры начала XX века под выставочные залы Иркутского областного краеведческого музея, перенос с ул. Гаврилова, 3 // Прогулка б: культура и история. 2011. № 29-30. С. 146–147.
12. Григорьева Е.И., Меерович М.Г., Муллаяров С.В. Регенерации исторического квартала в границах улиц 3-го Июля, Седова, Кожова в Иркутске. Проект планировки // Проект Байкал. 2010. № 23. С. 41–51.

REFERENCES

1. Tretyakova NM, Meerovich MG. Neorussian style in the architrave of wooden civil architecture of Irkutsk city in XVIII-XIX centuries. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2014;6(11):132-138. (In Russ.).
2. Gudelina G, Zakharchuk M. Restoration of wooden buildings. *Molodezhnyi vestnik IrGTU = Young Researchers' Journal of ISTU*. 2014;6(11):132-138. (In Russ.).
3. Konschin M, Zakharchuk M. Problems of cultural heritage restoration in the historic area of Irkutsk. *Molodezhnyi vestnik IrGTU = Young Researchers' Journal of ISTU*. 2016;2:15. (In Russ.).
4. Bol'shakov AG. Urban landscapes of the historical center of Irkutsk: principles of reconstruction. *Proekt Baikal = Project Baikal*. 2009;20:141-144. (In Russ.).
5. Sych ER, Zakharchuk MG. Characteristics of the application of building norms and rules during the restoration of a cultural heritage object.

Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate. 2019;9(2):438-451. (In Russ.). <http://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-2-438-451>.

6. Medvedev S.I. Irkutsk on postcards 1899–1917: Historical and bibliographic album-catalog. Moscow: Galart; 1996. 641 p. (In Russ.).

7. Kolmakov YuP (comp.). Irkutsk Chronicle 1661-1940. Irkutsk: Ottisk; 2003. 848 p.

8. Popov I.I. Forgotten Irkutsk Pages: Editor's Notes. Irkutsk: Vostochno-Sibirskoe knizhnoe izdatel'stvo; 1989. 384 p. (In Russ.).

9. Guide to the city of Irkutsk and Irkutsk province. Irkutsk: Izd. V.F. Khardina i I.I. Serebrennikova; 1915. 226 p. (In Russ.).

10. Ternovaya I.I. Monuments of the political struggle of the late XIX – early XX centuries. *Pamyatniki istorii i kul'tury Irkutsk.* Irkutsk: Vostochno-Sibirskoe knizhnoe izdatel'stvo; 1993. 447 p. (In Russ.).

11. Korovkin SYu. House. Restoration and adaptation of the monument of history and culture of the early XX century for the exhibition halls of the Irkutsk Regional Museum of Local Lore, transfer from the street Gavrilova, 3. *Proekt Baikal = Project Baikal.* 2011;29-30:146-147. (In Russ.).

12. Grigor'eva EI, Meerovich MG, Mullayarov SV. Regeneration of the historic quarter within the boundaries of the 3-go Iyulya, Sedova, Kozhova streets in Irkutsk. Layout project. *Proekt Baikal = Project Baikal.* 2010;23:41-51. (In Russ.).

Сведения об авторах

Пуляевский Павел Евгеньевич,

бакалавр,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
e-mail: ppulyaevskiy@bk.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7614-3989>

Захарчук Марина Геннадьевна,

доцент ВАК, доцент кафедры
монументально-декоративной
живописи и дизайна им. В.Г. Смагина,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
✉e-mail: mgzah@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4285-3186>

Information about authors

Pavel E. Pulyaevsky,

Bachelor,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: ppulyaevskiy@bk.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7614-3989>

Marina G. Zakharchuk,

Associate Professor of the Higher Attestation
Commission, Associate Professor
of the Department of Monumental
and Decorative Painting and Design named
after V.G. Smagin,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
✉e-mail: mgzah@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4285-3186>

Заявленный вклад авторов

Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Статья поступила в редакцию 20.07.2021.
Одобрена после рецензирования 18.08.2021.
Принята к публикации 20.08.2021.

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.

The article was submitted 20.07.2021.
Approved after reviewing 18.08.2021.
Accepted for publication 20.08.2021.



Архитектура жилых зданий из крупных панелей – тенденции формирования

© О. И. Саландаева

Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия

Резюме: Цель – исследование опыта и тенденций проектирования и строительства жилых зданий с использованием крупных панелей, в том числе в структуре формообразующей составляющей селитебных территорий города. Строительство, реконструкция и/или реновация жилых крупнопанельных зданий в нашем регионе приобретает особую актуальность в контексте государственных программ повышения устойчивости жилых домов, основных объектов и систем жизнеобеспечения в сейсмических районах Российской Федерации и Иркутской области в частности. Опыт отечественного и зарубежного строительства с использованием крупных панелей позволяет структурировать изучаемый материал и выделить несколько аспектов исследования: а) стилистические и планировочные приемы формирования жилой застройки; б) вариативность архитектурного формообразования жилых зданий в соответствии с социальной востребованностью и экономическим потенциалом; в) индустриальные методы строительства, отображающие технические достижения определенного периода; г) использование современных инструментов создания структуры, композиции и фактуры фасадов; д) сейсмостойкость зданий в зависимости от территориальных условий и периода строительства. Как показало исследование, существующие крупнопанельные здания старой постройки имеют значительный физический и сейсмический износ, а также часто не соответствуют техническим, социальным и эстетическим требованиям, и потому нуждаются в реконструкции или реновации. Данные об опыте крупнопанельного домостроения позволяют объективно утверждать, что развитие и совершенствование технологий возведения жилых зданий с использованием крупных панелей заводского или площадочного изготовления, современный уровень строительных технологий, разнообразие строительных и отделочных материалов и инструменты архитектурного моделирования способны помочь преодолеть проблему однотипности существующих и строящихся жилых зданий и обеспечить хорошее качество архитектуры и строительства, высокий уровень энергоэффективности и сейсмостойкости в массовом строительстве жилых зданий.

Ключевые слова: жилые крупнопанельные здания, жилая застройка, архитектурное моделирование, сейсмостойкость, сейсмичность, сейсмогеологические условия территории

Для цитирования: Саландаева О. И. Архитектура жилых зданий из крупных панелей – тенденции формирования // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2021. Т. 11. № 3. С. 544–561. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-544-561>.

Architecture of prefabricated large-panel housing - tendencies in development

Olga I. Salandaeva

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russia

Abstract: The paper discusses the experience and trends in the design and construction of residential buildings using large prefabricated panels, including a shape-generating factor of residential areas in the city. In the seismic regions of the Russian Federation and the Irkutsk region, in particular, the construction, reconstruction and renovation of large-panel housing have become of particular relevance owing to state programmes to increase the stability of residential buildings and basic and life-support infrastructure. The domestic and foreign experience in construction using large panels allows the information to be systematised and several aspects of the study to be highlighted: a) stylistic and planning methods for developing residential buildings; b) the variability of the architectural form making of residential buildings following social demand and economic potential; c) industrial construction methods,

reflecting the technical achievements of a certain period; d) using conventional tools to create a structure, arrangement and texture of facades; e) seismic capacity of buildings depending on site conditions and construction period. The results indicate that old prefabricated large-panel buildings have significant physical and seismic deterioration and rarely meet technical, social and aesthetic requirements; therefore, reconstruction or renovation is necessary. Experimental data evidences the following. Developing and improving the construction technologies of residential buildings using prefabricated or on-site produced large panels, state-of-the-art construction technologies, a variety of construction and finish materials, tools of architectural modelling will overcome the uniformity of existing residential buildings and buildings under construction. They also ensure good construction quality, a high level of energy efficiency and seismic capacity in mass housing construction.

Keywords: residential large-panel buildings, residential development, architectural modeling, seismic resistance, seismicity, seismogeological conditions of the territory

For citation: Salandaeva O. I. Architecture of prefabricated large-panel housing - tendencies in development. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2021;11(3):544-561. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-544-561>.

Введение

Технология крупнопанельного домостроения (КПД) – способ сборного строительства зданий типовых серий из элементов, которые изготавливаются на специализированных предприятиях (комбинаты КПД), заводах (заводы КПД, заводы железобетонных изделий и пр.) или специально оборудованных производственных площадках. Предприятия преимущественно ориентированы на долгосрочный выпуск неизменяемой продукции, что препятствует созданию многоплановой архитектуры жилых зданий массовой застройки. Реализовать возможность моделирования крупнопанельных жилых зданий с увеличением вариативности формообразования позволяет создание гибких технологических процессов. Данный способ эффективен для обеспечения качественной архитектуры жилых зданий разной этажности с разнообразными планировочными решениями. В отечественном современном опыте проектирования и строительства жилых зданий в условиях высокой сейсмичности с использованием технологии КПД устойчиво прослеживается приоритетное влияние строительного сейсмостойкого конструирования в соответствии с нормативными требованиями и на базе существующей строительной индустрии регионов¹ [1–12]. Существующие крупнопанельные здания старой постройки нуждаются в преоб-

разовании в связи с моральным, физическим и сейсмическим износом.

Методы

Изучен отечественный и зарубежный опыт возникновения технологий и методов крупнопанельного домостроения и его развития; опыт проектирования и строительства жилых зданий из крупных железобетонных изделий [13–15]. Исследованы основные типы крупнопанельных жилых зданий массового строительства и жилая застройка Байкальского региона и Улан-Батора автором в составе коллектива лаборатории сейсмостойкого строительства Института земной коры СО РАН; проведены натурные исследования жилых зданий и жилой застройки Окленда (Новая Зеландия). Изучены материалы исследований жилой застройки Иркутска, проанализированы и предложены гипотетические возможности и тенденции развития жилых зданий с учетом сейсмогеологических условий, согласующиеся с общегосударственным нормированием строительства в сейсмических районах, и тенденции современных архитектурных преобразований застройки. Рассмотрены требования отечественного архитектурного конструирования, которые отсылаются на воздействие сейсмических нагрузок. Изучен опыт преобразования существующей жилой застройки из крупнопанельных зданий. В данной статье рассмотрены основные задачи и спосо-

¹История индустриального домостроения: эксперименты с каркасом и панелью [Электронный ресурс] // Комплекс градостроительной политики и строительства города Москвы. URL: https://stroim.mos.ru/builder_science/istoriya-industrialnogo-domostroeniya-eksperimenty-s-karkasom-i-panelu?from=cl (09.05.2021); Кусаинов А.А., Ильичев В.А., Ботабеков А.К., Хенкель Ф.О., Шальк М., Холь Д. Проектирование сейсмостойких конструкций с комплектными системами сухого строительства: учеб. пособ. / под общ. ред. А.А. Кусаинова и В.А. Ильичева. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2008. 272 с.; Методика оценки и сертификации инженерной безопасности зданий и сооружений. М.: МЧС России, 2003. 85 с.

бы актуального архитектурного моделирования жилых зданий с использованием крупных панелей, в том числе способствующих обеспечению сейсмической устойчивости и сейсмической безопасности сооружений.

Результаты и их обсуждение

Крупнопанельное домостроение зародилось в Америке и получило широкое распространение на территориях европейских, восточных государств и СССР в XX веке. Первый опыт разработки и строительства жилых зданий с использованием крупных панелей из армированного бетона был реализован в 1910 г. по технологии, разработанной инженером и архитектором Гросвенором Аттербери. «Аттербери развивал практику загородного дома, особенно на Лонг-Айленде. Этот разносторонний архитектор с легкостью создавал самые разные проекты: от таунхаусов до макетов многоквартирных домов, от загородных усадеб до лофтов. Но он был мыслителем, особенно интересовавшимся тем, как делать не просто лучшие особняки, но и лучшие города»² (рис. 1–3). Фонд для улучшения городских условий жизни в 1909 году уполномочил Гросвенора Аттербери вместе с Джоном Чарльзом Олмстедом и Фредериком Лоу Олмстедом-младшим проектировать пригород Нью-Йорка – город-сад Форест-Хиллз в Куинсе на территории 142 акров. Они реализовывали английскую идею города-

сада, создали изогнутую структуру улиц, парков и компактных участков под застройку одно-, двух- и многоквартирных жилых домов разных экономических классов, в том числе и для улучшения жилищных условий рабочих. Г. Аттербери поставил и решил задачу снижения стоимости комфортных жилых зданий – провел научные исследования, эксперимент возведения стен из формованных бетонных плит и достиг снижения затрат на 20%. «Аттербери разработал систему сборных железобетонных панелей, созданных за пределами участка и собранных на месте, из которых был построен каждый дом в сообществе. Это было первое из его продолжающихся исследований использования сборных материалов. За свою карьеру Аттербери работал над более чем 100 проектов, включая заказы для Джона Д. Рокфеллера-младшего. Его статья “Образцовые города в Америке” о Форест-Хиллз-Гарденс для июльского номера Скрибнера 1912 года вдохновила других первых городских планировщиков»³. В Европе описанная технология известна как Система Аттербери. Такие эксперименты архитектор продолжал на протяжении всей своей жизни. Г. Аттербери отличался от большинства других специалистов своим постоянным интересом к жилищному и другим социальным вопросам.

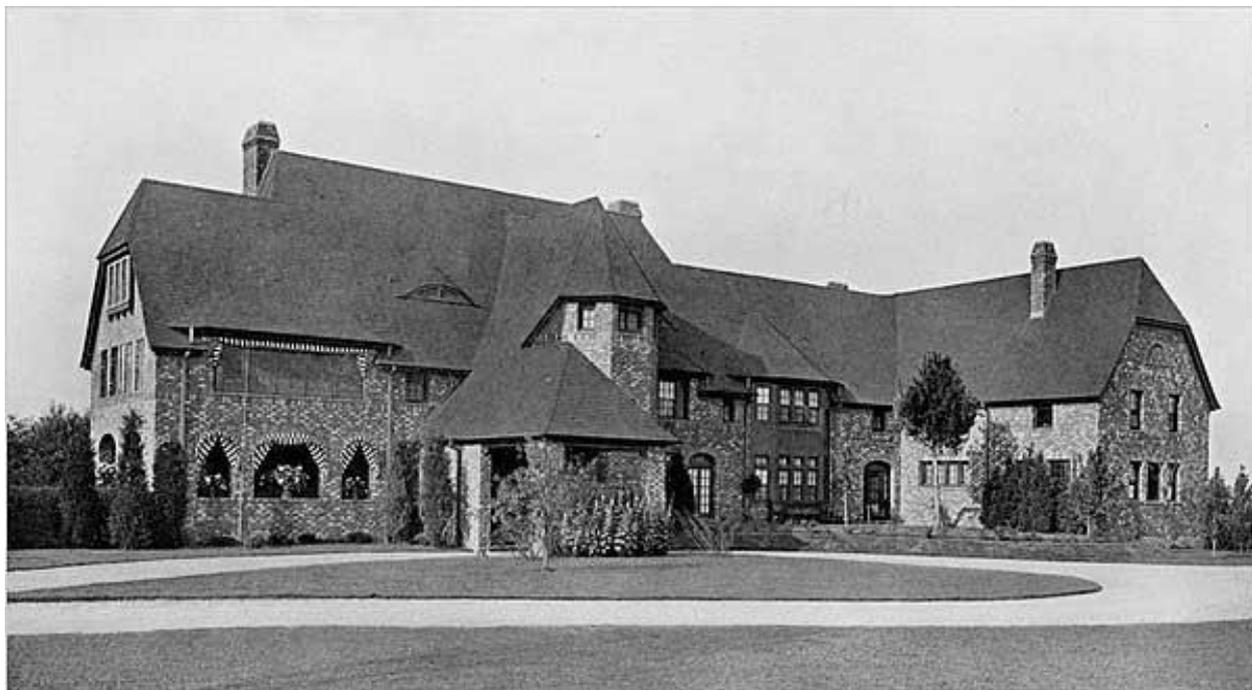


Рис. 1. Дом Генри Тревора в Саутгемптоне, штат Нью-Йорк, 1913 г. Фото из *Brickbuilder* 1913 г.
Fig. 1. The Henry Trevor house in Southampton, N.Y., 1913. The photo from *The Brickbuilder*, 1913

²1869–1956 Grosvenor Atterbury. Available from: <https://tclf.org/pioneer/grosvenor-atterbury> (06.07.2021).

³Там же.

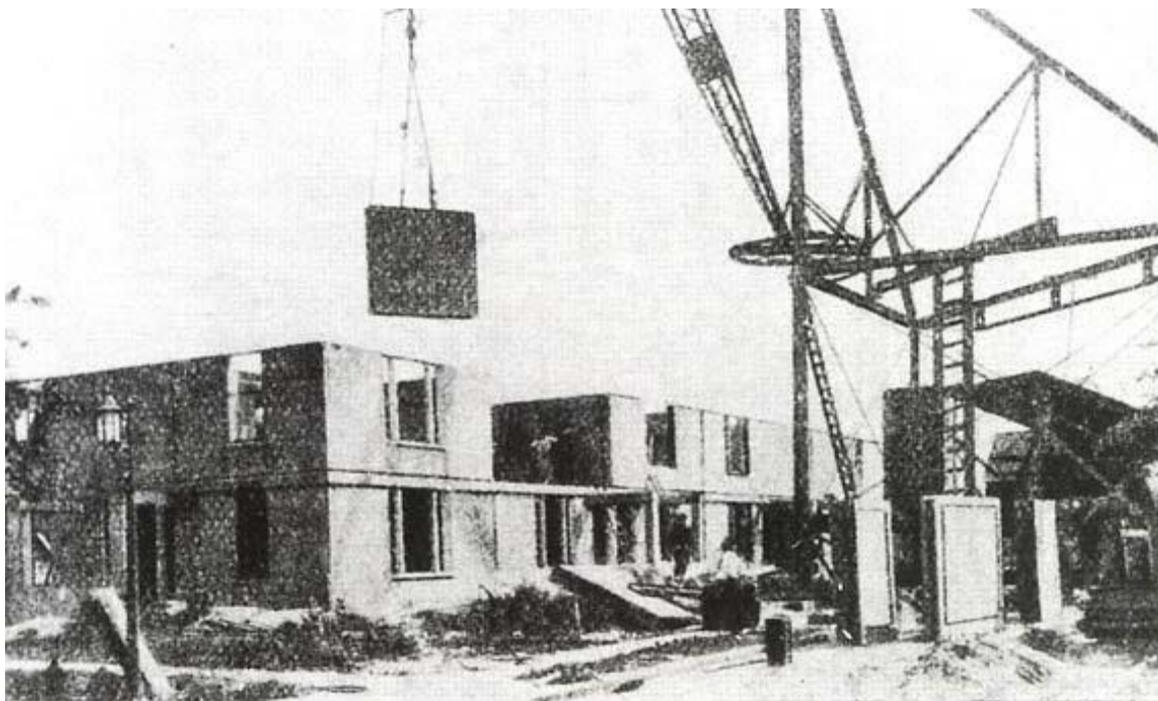


Рис. 2. Монтаж экспериментального бетонного дома Г. Аттербери
Fig. 2. Installation of G. Atterbury's experimental concrete house



Рис. 3. Один из экспериментальных бетонных домов Г. Аттербери в Сьюарене, штат Нью-Джерси. Фото *Standardized Housing Corporation / The Manufacture of Standardized Houses*
Fig. 3. One of G. Atterbury's experimental concrete houses in Sewaren, N.J. Photo by *Standardized Housing Corporation / The Manufacture of Standardized Houses*⁴

⁴Walker A., Pennoyer P. *The Architecture of Grosvenor Atterbury*. W.W. Norton & Company, 2009. 288 p.

Экспериментальное и индивидуальное строительство жилых домов велось с учетом национальных и государственных традиций до 20-х гг. XX в., но последствия Первой мировой войны стали причиной рождения нового течения в архитектуре, которое с 1950-х годов получило название интернационального стиля. Его основные принципы: отказ от историчности и ее формообразующих стилей, применение прогрессивных строительных материалов (сталь, стекло, предварительно напряженный бетон), отказ от изысков и украшения зданий. Урбанизация и острая потребность в доступном жилье в сжатые сроки стимулировала строительство сборных типовых жилых зданий без излишеств.

Строительство кварталов из типовых зданий началось в 1920-х годах. Архитектор Мартин Вагнер в 1921 г. реализовал проект «бетонной деревни» в одном из районов восточного Амстердама и в 1926 г. в районе Лихтенберге Берлина – первое типовое здание. В 1925 году на Международной выставке в Париже архитектор Ле Корбюзье презентовал «жилую единицу» многоквартирного дома в

натуральную величину как составляющий элемент павильона «Эспри Нуво». Марсельский блок (1947–1952) – многоквартирный жилой дом в зеленой зоне Марселя – Ле Корбюзье задумал как дом-коммуну, с типовыми квартирами в двух уровнях «дуплекс», внутренним общественным ядром, расположенным в центральной части по высоте и включающим почту, библиотеку, магазины, кафе и пр.

Фасады здания с лоджиями выполнены в технике активной полихромии с использованием ярких чистых цветов. Пропорционирование фасадов Ле Корбюзье разработал по своей системе «Модульор» (рис. 4). По проектам, основанным на концепции «жильной единицы», после Второй мировой войны были построены жилые крупнопанельные здания (с типовыми квартирами) в городах Нант-Резе (1955), Бриан-Форе (1961), Фирмини (1968), Западный Берлин (1957) (рис. 5). Философия и архитектура «жильного дома Ле Корбюзье» была признана мировым строительным сообществом и принята как эталон для эффективного решения массового строительства жилья.

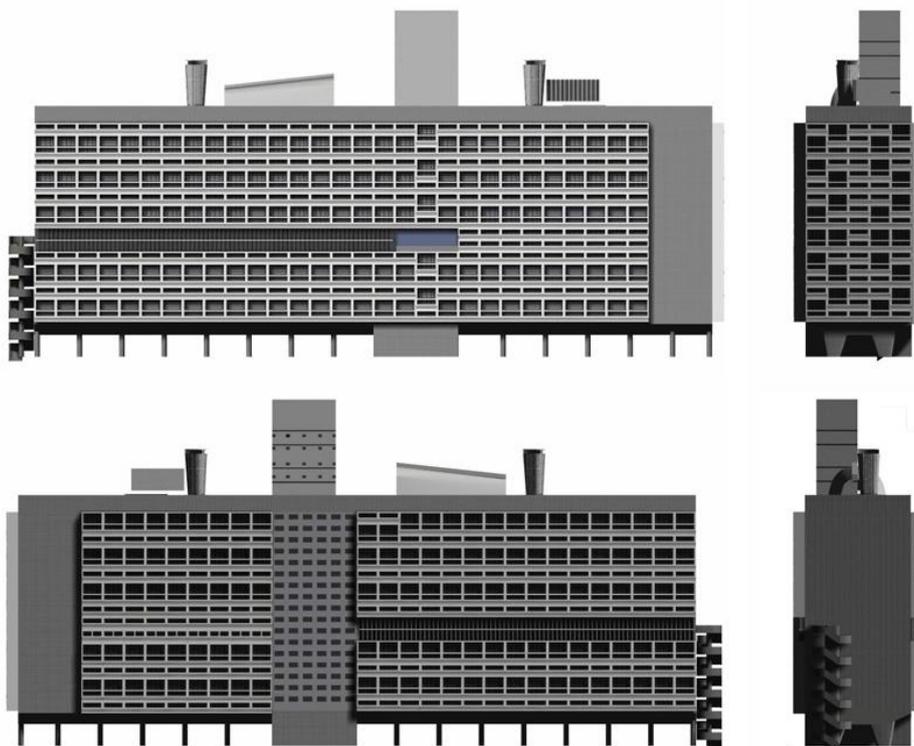


Рис. 4. Марсельская жилая единица (Unité d'Habitation) – семнадцатизэтажный единый комплекс в Марселе (1945–1952), расположен среди парка на бульваре Мишле⁵

Fig. 4. The Marseille residential unit (Unité d'Habitation) is a seventeen-story single complex in Marseille (1945–1952) located in the middle of a park on Boulevard Michelet

⁵Жилая единица (Unité d'Habitation), Марсель, Франция. 1945–1952 [Электронный ресурс] // Le Corbusier. Totalarch. URL: http://corbusier.totalarch.com/unite_d_habitation_marseille (06.07.2021).



Рис. 5. Крупнопанельный жилой дом, архитектор Ле Корбюзье. Жилая единица (Unité d'Habitation) в Берлине⁶. Построена в 1957 году.

Fig. 5. Large-panel residential building, architect Le Corbusier. Housing unit (Unité d'Habitation) in Berlin. Built in 1957

Примером первого эксклюзивного отечественного опыта строительства жилых зданий с применением крупных индустриальных изделий, а именно сборных железобетонных блоков, является жилой дом, построенный в 1940 г. по проекту архитекторов Андрея Бурова и Бориса Блохина на Ленинградском проспекте в Москве. Планировочные решения квартир уже начали отражать общие тенденции в строительстве жилья в Америке и Европе –

были предусмотрены совмещенные санузлы и малые кухни в расчете на изменения бытовых условий, а именно заказы готовых блюд в кафе, расположенном на 1 этаже. Высота помещений оставалась 3,2 м. Фасады были декорированы рельефами, ажурные решетки ограждали лоджии, впоследствии здание стали называть «Ажурный дом» (рис. 6). Проект планировался как типовой, но реализации массового строительства помешала Вторая мировая война.



Рис. 6. Шестиэтажный крупноблочный жилой дом на Ленинградском шоссе⁷, построенный архитекторами А.К. Буровым и Б.Н. Блохиным в 1939–1940 гг.

Fig. 6. A six-story large-block residential building on the Leningradskoe highway, built by architects A.K. Burov and B.N. Blokhin in 1939–1940

⁶Фото из сети интернет. URL: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a1/Corbusierhaus_B-Westend_06-2017.jpg (06.07.2021);

Сносная архитектура: краткая история хрущевок [Электронный ресурс] // Bazaar. URL: <https://bazaar.ru/lifestyle/design/snosnaya-arhitektura-kratkaya-istoriya-hrushchevok/> (06.07.2021).

⁷Крупноблочный жилой дом на Ленинградском проспекте, 27 [Электронный ресурс] // Культура.РФ. URL: <https://www.culture.ru/institutes/13800/krupnoblochnyi-zhiloi-dom-na-leningradskom-prospekte-27> (06.07.2021).

Начиная с 1940 г. под руководством Г. Кузнецова начались научные исследования и разработка проекта панельно-каркасного жилищного строительства в НИИ строительной техники Академии архитектуры СССР, прерванные Второй мировой войной. В 1943–1944 гг. остро встал вопрос о строительстве капитального жилья в ограниченные сроки.

Был создан первый завод для изготовления строительных конструкций и деталей, и первый в стране панельный дом был собран в декабре 1945 года. Метод получил широкое применение в период индустриализации в СССР, что было связано с необходимостью обеспечения благоустроенным недорогим жильем трудящихся, в том числе на новых и развивающихся территориях. Идея типового индустриального строительства согласовывалась с планами партии и правительства того периода. «В 1947–1948 годах по проекту, разработанному в НИИ строительной техники Академии архитектуры СССР (арх. Б. Богомолов, инж. Г. Кузнецова), на Соколиной горе возводится первый экспериментальный каркасно-панельный дом с полным каркасом из стали»⁸. Примеры выразительного решения крупнопанельных жилых зданий реализованы в Москве, Петербурге, Вильнюсе, Минске, Алматы, Иркутске и проч. (табл. 1).

Институтом «Ленпроект» в середине 50-х годов была разработана типовая серия крупнопанельных жилых домов 1-506 и первые экспериментальные жилые дома (серия 1-506Э), которые известны как панельные «сталинки» с полноценными площадями и высотой помещений и толстыми стенами.

Архитекторы и проектировщики СССР внесли значительный вклад в создание жилых зданий КПД на территориях с разным климатом; они разрабатывали проекты для территорий с суровыми природными условиями, высокими и низкими температурами, сильными ветрами, снежными заносами, вечной мерзлотой и высокой сейсмичностью. Ленинградские архитекторы разрабатывали 4-, 5-, 9-этажные типовые проекты жилых зданий для разных климатических условий, в том числе для сейсмических районов.

Типовые проекты ленинградских архитекторов использовали в городах: Мурманск, Тюмень, Сургут, Надым, Архангельск, Ангарск, Воркута, Норильск, Якутск, Магадан и др. Были разработаны типовые проекты для поселков Байкало-Амурской магистрали на терри-

ториях с сейсмичностью 7–8 баллов и вечной мерзлотой.

Номенклатура элементов заводского изготовления в отечественном КПД обеспечивает, как правило, полную сборку зданий и включает: крупные железобетонные стеновые панели разного назначения, плиты покрытия и перекрытия, санитарно-технические кабины, объемные блоки шахт лифтов, вентиляционные блоки, элементы лестничных клеток, балконов, лоджий, эркеров, карнизов, парапетов и пр. Но типовые формообразующие изделия имели ограниченное количество типоразмеров в рамках установленных сериями стандартных параметров.

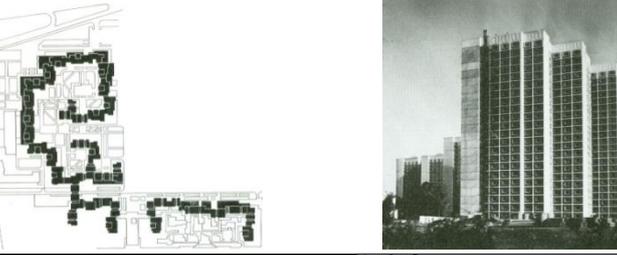
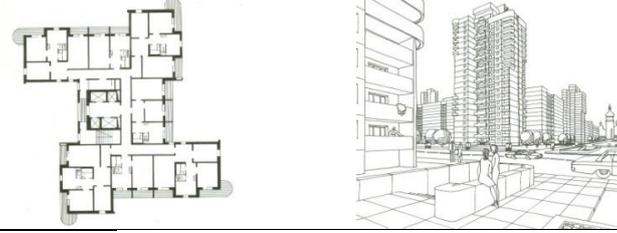
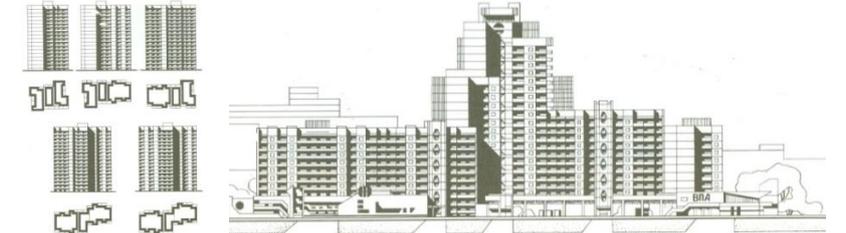
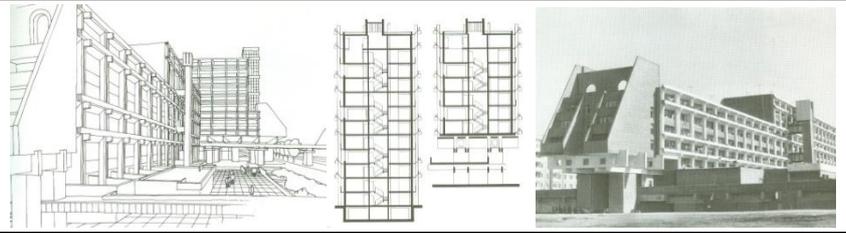
Основные способы производства железобетонных изделий: а) вертикальное формование в кассетах (кассетный); б) горизонтальное формование на поворотных обогреваемых вибростолах; г) агрегатно-поточный метод (формование панелей в горизонтальном положении в отдельных формах), или конвейерный; д) способ вибропроката (используется прокатный стан конструкции Н.Я. Козлова). Качество железобетонных изделий заводского изготовления обеспечивается: а) техническим контролем технологических процессов; б) техническим контролем изготавливаемых элементов на разных стадиях производственного процесса; в) контролем температурно-влажностного режима производственного процесса.

В заводских условиях можно достичь высокой степени готовности сборных изделий и обеспечить высокие темпы строительства на строительной площадке, что и является главным преимуществом панельного домостроения перед другими типами строительства, особенно в регионах с продолжительным зимним периодом, сопровождающимся низкими (минусовыми) температурами.

Доставка готовых изделий на строительные площадки осуществляется на специальном автотранспорте – панелевозах (рамных, безрамных, ферменных) грузоподъемностью до 24 тонн. Монтаж каркасно-панельных (с полным и неполным каркасом) и крупнопанельных зданий осуществляется при помощи специального грузоподъемного и монтажного оборудования. Соединение элементов при помощи сварки закладных деталей и их замоноличивания обеспечивает неизменяемость несущего остова.

⁸История индустриального домостроения: эксперименты с каркасом и панелью [Электронный ресурс] // Комплекс градостроительной политики и строительства города Москвы. URL: https://stroi.mos.ru/builder_science/istoriya-industrialnogo-domostroeniya-eksperimenty-s-karkasom-i-panelu?from=cl (06.07.2021).

Таблица 1. Индивидуальные и типовые крупнопанельные жилые дома советского периода
Table 1. Individual and typical large-panel residential buildings of the Soviet period

Наименование	Общий вид
<p>Москва. Северное Чертаново. Крупнопанельный жилой дом. Разрез, общий вид застройки. Архитекторы: М. Посохин, Л. Дюбек, А. Шапиро. Инженер – С. Корштейн</p>	
<p>Москва. Беговая улица. Крупнопанельный жилой дом. Фрагмент плана 1 этажа, фрагмент общего вида, фасад, общий вид. Архитекторы: А. Меерсон, Е. Подольская. Инженеры: Ю. Дыховичный и др.</p>	
<p>Москва. Тропарево. Крупнопанельные жилые дома серии П4/22. План типового этажа, общий вид. Архитекторы: А. Самсонов, А. Бергельсон. Инженеры: В. Шулькин, И. Гриншпун, Л. Вержбицкая</p>	
<p>Москва. Жилой район Воронцово. Крупнопанельные жилые дома. Генплан застройки, общий вид. Архитекторы: А. Рогачев, М. Былинкин. Инженеры: О. Ширяев, А. Гордон, В. Карганов, В. Марин, А. Пятецкий, Ф. Феритер</p>	
<p>Киев. Жилой район Троещина, Оболонь. Крупнопанельные жилые дома. План типового этажа, общий вид. Архитекторы: В. Воткало, Г. Гуренков, В. Гречина, В. Коломеев, В. Ежов. Инженеры: В. Золотарев и др.</p>	
<p>Минск. Улица Горького. Крупнопанельные жилые дома. Фасады, общий вид. Архитекторы: Л. Москалевич, Г. Ласковая. Скульпторы: А. Крокалев, О. Хохлов. Инженер – В. Суевко</p>	
<p>Иркутск. Улица Карл-Маркс-Штадт. Жилой комплекс с использованием крупных панелей. Архитекторы: В. Павлов, А. Беляков. Инженеры: Ю. Бержинский, Л. Латышев, Ю. Торгашин</p>	

Однако оснащение существующей строительной базы домостроительных комбинатов, как правило, ориентированное на долгосрочный выпуск неизменяемой продукции, препятствует расширению ассортимента и типоразмеров железобетонных изделий для более свободного архитектурного формирования зданий.

По существу, строительство жилых зданий по типовым сериям, с одной стороны, позволило эффективно обеспечить благоустроенным жильем значительную часть населения, но при этом массовое строительство однотипных зданий не может быть признано положительным опытом в формировании архитектурной среды городов.

В процессе развития крупнопанельного домостроения основной акцент был сделан на совершенствование строительного конструирования, в том числе обеспечение требований сейсмостойкости.

Исследования в этой области достигли высоких результатов. Но сегодня перед нами стоит задача достижения результатов архитектурных. Следует признать, что строительство жилых домов по типовым сериям не всегда обеспечивало необходимую сейсмостойкость, как правило, по причинам использования серий, не соответствующих сейсмичности территорий.

Опыт трагических последствий катастрофических землетрясений в Ашхабаде, Туркмении (1948 год), Ташкенте, Узбекистане (1966 год), Спитаке, Армении (1988 год) был изучен, и дальнейшие научные исследования имели не только теоретическую и экспериментальную основу, но и опирались на результаты исследований последствий реальных катастрофических землетрясений.

Первые Правила антисейсмического строительства были введены в РСФСР в 1937 г., затем были разработаны еще несколько инструкций по проектированию и строительству зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах, и уже начиная с 60-х годов XX в. проектирование и строительство в городе официально велось с учетом СНиП II-A.12-62 «Строительство в сейсмических районах». Нормативные требования для проектирования и строительства в сейсмических районах совершенствуются на основе накапливаемого опыта, изменений сейсмических условий на деградирующих территориях, разработки новых и развития существующих технологий – нормативная база обновляется. В настоящее время действующими нормативными документами являются СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах. Актуализированная ре-

дакция», СНиП II-7-81*, СП 31-114-2004 «Свод правил по проектированию и строительству. Правила проектирования жилых и общественных зданий для строительства в сейсмических районах» и др. Сейсмостойкость жилых зданий в определенных сейсмогеологических условиях характеризуется конструктивной уязвимостью (учитывает факторы конструктивного и объемно-планировочного решения, габариты, физический и сейсмический износ) и планировочной уязвимостью (учитывает градостроительные условия, в т.ч. плотность застройки и ландшафт). Иркутск расположен в области влияния Байкальской рифтовой зоны, с развитой сетью тектонических разломов различного возраста, активности, глубин заложения и сейсмической опасности. Сейсмичность в Иркутске – 8, 9 баллов согласно картам А, В и С ОСП-2015. Расчетная сейсмичность территории застройки уточняется в соответствии с дополнительными характеристиками сейсмических свойств грунтов, геологических и гидрогеологических условий территории города. При проектировании учитывается степень значимости здания: для особенно важных зданий расчетная сейсмичность дополнительно может увеличиться.

В советский период развитие Иркутска было обусловлено курсом на строительство предприятий тяжелой промышленности, энергетических и энергоемких производств. Территория города значительно расширилась, потребность в рабочих кадрах привела к значительному росту населения. Стремительное развитие добывающих, промышленных и энергетических комплексов требовало значительных финансовых вложений и притока населения, которое в кратчайшие сроки необходимо было обеспечить благоустроенным жильем. При разработке типовых проектов жилых зданий авторы-проектировщики были ориентированы на решение задач функциональной целесообразности в существующих экономических обстоятельствах. Дальнейшее развитие индустриализации Иркутска определило типологию жилых зданий. Жилой фонд начал формироваться главным образом на свободных территориях из 5-этажных зданий индустриальной постройки. Массовое строительство крупнопанельных жилых домов с 60-х годов XX века велось преимущественно по типовым проектам.

В Иркутске крупнопанельные жилые здания по типовым проектам, как правило, обезличенные, с крайней унификацией форм, не предоставляющие возможности определить «место архитектуры», обозначить индивидуальность района и пр. Архитектурные задачи проектирования застройки по типовым проектам ограни-

чивались моделированием планировочных решений застройки микрорайонов. К наиболее удачным районам в планировочном отношении относится Солнечный, этому способствовали и его местоположение, и ландшафт. Микрорайон имеет четкую шлейфовую планировочную структуру – «ковровая» застройка из типовых крупнопанельных зданий расположена с двух сторон коммуникационной оси: ядро города – микрорайон – озеро Байкал. Композиционной доминантой Солнечного изначально являлся индивидуальный жилой комплекс, в котором использовались крупные панели, на Карл-Маркс-Штадт (архитекторы В. Павлов, А. Беляков; инженеры Ю. Бержинский, Л. Латышев, Ю. Торгашин; см. табл. 1).

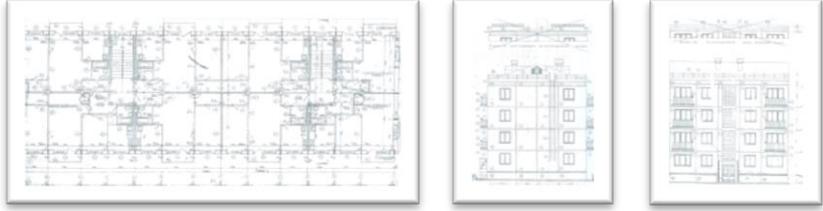
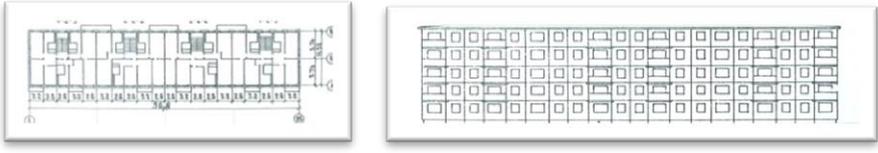
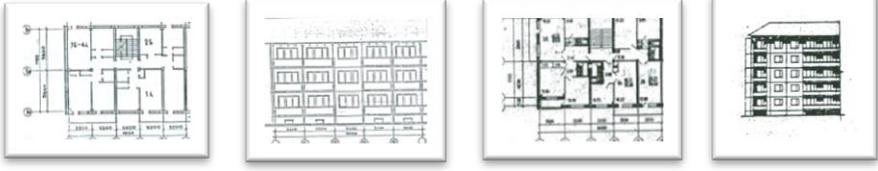
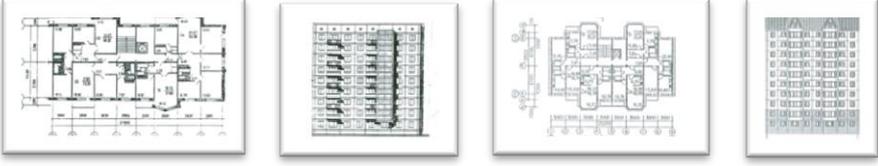
Индустриальная база для крупнопанельного домостроения Иркутской области начала свое формирование с освоения жилых домов серии 1-335с, со смешанной конструктивной схемой с неполным каркасом (без пристенных колонн), высотой 4–5 этажей, которые строились в 1959–1966 гг.; 5-этажные дома усовершенствованной серии 1-335-АС (1970–1980 гг.) имеют внутренний каркас (с пристенными колоннами и с диафрагмами жесткости). Сейсмостойкость жилых зданий, построенных в 1960–1965 годах, уступает зданиям усовершенствованной серии более поздней постройки. В строительстве домов стали применяться наружные стены из газозолобетона, прочность которых значительно уменьшилась за годы эксплуатации при активном климатическом воздействии (ветер, влага, температурные перепады). В 1977 г. было освоено строительство домов серии 135с, планировочное решение которых предусматривало 4 типа зданий (основной, с колясочной, со сквозным проходом, с уширенным торцом) и было унифицировано для 5- и 9-этажных домов. Конструктивная схема с поперечными несущими стенами, двумя продольными железобетонными стенами и жестким диском перекрытия образует пространственную жесткую систему, обеспечивающую сейсмостойкость здания. Строительство домов этой серии велось до 1990 г. Серия 1-464 для строительства 5-этажных жилых домов впервые разработана бывшим институтом Гипростройиндустрия (г. Москва) в 1959 г. Впоследствии серия типовых проектов была переработана ЦНИИЭП жилища в серию 1-464 АС, введена в действие в 1964 г. и скорректирована в 1966 г. Далее в 1975–1980 гг. Иркутскгражданпроект разработал вариант серии 1-464 АС с учетом минского опыта. Главное отличие данной серии от предшествующей: а) введены декоративные железобетонные эле-

менты на фасаде и планировочные изменения за счет устройства лоджий в шаге 3,2 м; б) увеличено количество типов планировочных решений; в) применены отдельные санузлы. В продольном направлении сейсмостойкость зданий обеспечивается одной внутренней и двумя наружными продольными стенами. В поперечном направлении – сквозными на всю ширину здания стенами, расположенными с шагом 2,6 и 3,2 м. Совместность работы стен обеспечивается горизонтальным жестким диском перекрытия. Первые типовые проекты 5-этажных жилых домов серии И-163.04 (7- и 8-балльные варианты), разработанные ЛенЗНИИЭП, датированы 1973 г. При освоении строительства домов этой серии в Прибайкалье некоторые решения были адаптированы для Иркутской области Сибирским филиалом ОргстройНИИпроект (конструктивная схема смешанная, каркас предназначен для восприятия только вертикальных нагрузок). Типовой проект 9-этажных жилых домов серии И-163.02 для строительства в районах с сейсмичностью 7 баллов разработан ЛенЗНИИЭП в 1977 г. По конструктивной схеме жилые дома этой серии представляют собой перекрестно-стенную систему. Наиболее уязвимым местом домов серий И-163.04 и И-163.02 являются стены из газозолобетона. В 1992–93 годах на блок-секции серии И-163.02 в г. Ангарске проведены экспериментальные и расчетно-теоретические исследования по оценке сейсмостойкости жилых домов этой серии. На основании результатов испытаний специалистами ГУП «Сибирский Оргстройпроект» и ООО «Спецпроект» был разработан конструктивный вариант зонального типового проекта с применением блок-секций серии И-163.02/94 в 10-этажном варианте для районов с сейсмичностью до 8 баллов включительно. В 1997 году, с введением трехслойных железобетонных панелей взамен однослойных газозолобетонных повышена надежность всей конструктивной системы с учетом современных требований по тепловой эффективности жилых домов серии И-163.02/94 [8] (табл. 2).

В соответствии с архитектурными требованиями ГУАГ администрации города Иркутска в рамках модернизации серии ООО «Спецпроект» (с участием автора) и «Ангарское управление строительства» были разработаны и внедрены улучшенные архитектурно-планировочные решения блок-секций. Было предложено более 10 типов планировочных решений блок-секций с разнообразным составом квартир, включающим малосемейные (рядовые и поворотные блок-секции).

Таблица 2. Конструктивные типы крупнопанельных жилых домов массового строительства Прибайкалья

Table 2. Constructive types of large-panel residential buildings for mass construction in the Baikal region

Наименование	Общий вид
Жилые крупнопанельные дома серии 1-335с, 5 этажей (для 7 баллов), после Ташкентского землетрясения 1967 г. высоту зданий понизили до 4 этажей (для 8 баллов)	
Жилые крупнопанельные дома серии 1-335 АС (модернизированная серия 1-335с) с улучшенной конструктивной схемой и планировками, 5 этажей	
Жилые крупнопанельные дома серии 135с, 5 и 9 этажей. 9-этажный вариант состоит из унифицированной неизменяемой части блок-секции и набора торцевых и рядовых элементов блокировки, сочетание которых обеспечивает различный набор квартир. Планировочные решения унифицированы для 5- и 9-этажных домов	
Жилые крупнопанельные дома серии 1-464 АС, 5 этажей. В 1975–1980 гг. Иркутскгражданпроект разработал вариант с учетом минского опыта	
Жилые крупнопанельные 5-этажные дома (для 8 баллов) серии И-163.04 (ЛенЗНИЭП), 3-этажные разработаны на базе серии И-163.04 институтом «Иркутскгражданпроект»	
Жилые крупнопанельные 9-этажные дома (для 7 баллов) серии И-163.02 (ЛенЗНИЭП), на базе серии И-163.02 разработан 10-этажный вариант И-163.02/94	

Блок-секции характеризуются разнообразным набором типов квартир – от 1-комнатных общей площадью 35 кв. м до 3-комнатных

площадью 79 кв. м. Стандартная комбинация 2- и 3-комнатных квартир легко трансформировалась, в т.ч. в процессе строительства, в со-

четание 1-, 2-, и 4-комнатных квартир с общей площадью 4-комнатной квартиры 93 кв. м. Блок-секции были разработаны с устройством эркеров, что значительно повысило возможности планирования застройки в части инсоляции и улучшило архитектуру фасадов и планировку квартир (площадь общей комнаты повысилась до 23 кв. м).

В период модернизации жилых зданий серии И-163.02/94 в СНиП II-7-81* действовало требование, отраженное в разделе «крупнопанельные здания» в пункте 3.34: «... устройство эркеров не допускается», что значительно осложняло работу архитекторов. В связи с этим были проведены дополнительные конструктивные мероприятия и расчеты по устройству эркеров с применением железобетонных рам, которые были согласованы с ЦНИИСК. И уже в версии СП 14.13330.2011 «Строительство в сейсмических районах», актуализированной редакции СНиП II-7-81*, требование относительно эркеров из пункта 3.34 было исключено.

Однообразная, монотонная жилая застройка из зданий, построенных по типовым сериям панельных домов, преобладает в спальных районах городов. Жесткая унификация планировочных решений жилых домов старой постройки не учитывает индивидуальных потребностей жильцов, в том числе и людей с ограниченными возможностями. Планировочные решения квартир оптимальны, но, как правило, помещения имеют маленькую площадь, часто с проходной общей комнатой, что не всегда удовлетворяет потребности семей. При этом жилые дома имеют достаточный уровень оснащения утилитарными инженерными коммуникациями – электроснабжение, системы связи, водоснабжение (холодное, горячее),

отопление, системы канализации, в зданиях выше 5 этажей – лифты.

Состояние существующих крупнопанельных зданий ранней постройки характеризует моральный, физический и сейсмический износ, они не соответствуют и современным требованиям по энергоэффективности. Наибольший физический и сейсмический износ в Иркутске имеют жилые дома серии 1-335с, со смешанной конструктивной схемой с неполным каркасом, со стенами из газозолобетона, высотой 4–5 этажей, которые эксплуатируются уже 50–60 лет. Современные технические, социальные и архитектурные требования делают очевидной необходимость реконструкции и/или реновации подобных жилых зданий с целью не только повышения сейсмостойкости и энергоэффективности, но и улучшения архитектурного качества жилых массивов, зданий, квартир, а также их социальной и эстетической модернизации.

В западных странах работа инвестиционных программ по возрождению крупнопанельных жилых комплексов и повышению их привлекательности ведется способами частичного или полного сноса зданий, их реновации и модернизации, а также введения различных форм жилья, благоустройства, озеленения и формирования социальной инфраструктуры.

Модели перестройки крупнопанельных жилых домов старой постройки применимы в малых городах, на окраинах крупных городов (рис. 7).

Модели преобразования крупнопанельных жилых домов старой постройки, адаптирующие здания к современным потребностям жителей и нормативным требованиям, представлены на рис. 8.



Рис. 7. Модели перестройки крупнопанельных жилых домов старой постройки:

a – трехквартирные дома из крупных панелей, восстановленные после сноса большого здания (фото Пшемислава Новаковского); *b* – уменьшение этажности (уменьшение количества квартир) и получение более разнообразного вида зданий (фото Пшемислава Новаковского)

Fig. 7. Models of restructuring of old large-panel residential buildings: *a* – three-family houses built of large panel pre-fabricates reclaimed after the demolition of a large building (photograph by Przemyslaw Nowakowski); *b* – reduction of the number of floors (reduction of number of apartments) and obtaining a more diversified look of buildings (photograph by Przemyslaw Nowakowski)



Рис. 8. Модели преобразования крупнопанельных жилых домов старой постройки [15]:
a – системное и комплексное остекление балконов (фото Пшемислава Новаковского);
b – архитектурная трансформация входной зоны здания и его приспособление для людей на инвалидных колясках (фото Пшемислава Новаковского); *c* – пристройка лифта на лестничной клетке в четырехэтажном доме и остекление балконов частными арендаторами

Fig. 8. Conversion models for old large-panel residential buildings [15]:
a – system and complex glazing of balconies (photograph by Przemyslaw Nowakowski);
b – architectural transformation of the building entrance area and its adaptation for people on wheelchairs (photograph by Przemyslaw Nowakowski); *c* – extension of a lift at the staircase in a four-storey building and glazing of balconies installed by individual tenants

Формообразование жилых зданий в контексте качества и эстетики архитектуры зависит от экономических возможностей, функциональных требований и требований обеспечения качества строительства, а в сейсмически опасных районах и от требований сейсмостойкости. В современном строительстве крупнопанельных жилых домов жилые здания малоэтажные (многоквартирные, индивидуальные) и многоэтажные (многоквартирные) могут иметь разные конструктивные особенности, в том числе при строительстве в сейсмических районах. В Институте земной коры СО РАН и ООО «Спецпроект» авторским коллективом была разработана индустриальная конструктивно-технологическая система для малоэтажного строительства в сейсмических районах (Патент на изобретение № 2340751, с участием автора). Основными конструктивными элементами системы являются армированные стеновые виброкирпичные панели и железобетонные плиты перекрытия, обрамленные металлическими рамами, которые являются элементами опалубки и собственно скрытым металлическим каркасом, определяющими габариты панелей. В конструкции каркаса жилого здания реализована идея так называемой упруго-фрикционной системы, особенностью которой является целенаправленное использование эффекта повышенного рассеяния энергии при колебаниях здания за счет сухого трения специально запроектированных конструктивных элементов. В сущности, мы получили гибкую систему производ-

ства панелей с индивидуальными габаритами в рамках габаритов используемой виброплатформы и различные габариты панелей для формообразования малоэтажных жилых зданий. Обеспечена максимальная вариативность объемно-планировочных решений с широкими возможностями изменения шагов и пролетов, а также высот этажей для каждого конкретного объекта, в зависимости от поставленных архитектурных задач. Наружные стены формируются как многослойная конструкция: несущие элементы – стеновые панели, утеплитель и система вентилируемого фасада – позволяют использовать самый широкий спектр фасадных материалов по фактуре, цветовому решению, расположению, габаритам и заполнению световых проемов. Не ограничены возможности по решению объемов крыш – чердачные, плоские, эксплуатируемые и пр. Система может быть использована как для высокоплотной блокированной застройки, так и для проектирования усадебных жилых домов, отдельно стоящих коттеджей или многоквартирных зданий (рис. 9).

Гибкость проектных решений в разработке объемно-пространственной структуры и планов зданий и квартир, оформление фасадов, создание условий для людей с ограниченными возможностями, оптимальное использование особенностей территории при современном строительстве демонстрируют крупнопанельные здания средней этажности, реализованные в Окленде (Новая Зеландия) (рис. 10).



Рис. 9. Фасады малоэтажной жилой застройки Академгородка в Иркутске в конструкциях конструктивно-технологической системы (проект автора)

Fig. 9. Facades of low-rise residential buildings of Akademgorodok in Irkutsk in the structures of the structural and technological system (author's project)

Заключение

Повышение сейсмической активности Прибайкалья в 2020–2021 гг. еще раз обращает наше внимание на актуальность задачи обеспечения сейсмостойкости жилых зданий. Последние землетрясения происходили преимущественно ночью, когда люди не могут спешно покинуть помещения, особенно в зимнее время.

Доля жилых крупнопанельных зданий в Иркутске составляет более 40% от общей жилой площади помещений. По современному состоянию крупнопанельные здания разных серий можно оценить по шкале ГОСТ Р (тип по ММСК -86) в диапазоне от С6,5 (тип В) до С8 (тип В). Существующие крупнопанельные здания старой постройки имеют значительный моральный, физический и сейсмический износ, а также часто не соответствуют техническим, социальным и эстетическим требованиям, а значит, нуждаются в реконструкции или реновации. Избежать проблемы утилизации крупных железобетонных изделий при демонтаже жилых зданий можно путем повторного их применения в малоэтажном строительстве.

Строительство крупнопанельных жилых домов имеет свои недостатки и достоинства. К недостаткам можно отнести жесткость производственного процесса, что ограничивает ассортимент и параметры готовых из-

делий и создает некоторые проблемы при заделке наружных стыков панелей (швов). К достоинствам – высокую степень изученности конструктивной системы, в том числе данных последствий землетрясений, экспериментальных исследований, теоретических изысканий, указывающих на целесообразность использования этой конструктивной системы в сейсмических районах.

Технологические процессы в современном крупнопанельном домостроении претерпевают изменения в связи с повышением конкуренции. Разрабатываются новые требования и технологии строительства. Повышается качество готовых изделий, в том числе уменьшаются допуски отклонений геометрических параметров, увеличивается ассортимент готовых изделий и налаживается производство панелей любых габаритов (возможны ограничения веса с учетом возможностей транспортных средств и монтажного оборудования).

В современном проектировании жилых зданий в условиях высокой сейсмичности часто устойчиво прослеживается первостепенное влияние строительного сейсмостойкого конструирования в соответствии с существующими нормативными требованиями и на базе существующей строительной индустрии регионов и игнорируются архитектурные задачи.



▲ Крупнопанельный жилой комплекс, тип 1, общие виды, фрагмент, Tamaki Dr (фото автора)



▲ Крупнопанельные жилые комплексы, тип 2 и 3, общие виды, Tamaki Dr (фото автора)



▲ Крупнопанельный жилой комплекс, тип 4, общие виды, фрагменты, College Rd (фото автора)



▲ Крупнопанельный жилой комплекс, тип 5, общие виды, фрагменты, College Rd (фото автора)

Рис. 10. Крупнопанельные жилые здания средней этажности, Окленд, Новая Зеландия
Fig. 10. Large Panel Mid-Rise Residential Buildings, Auckland, New Zealand

Фактически же при формировании архитектурных образов сейсмостойких жилых зданий существует множество архитектурных инструментов на разных этапах проектирования, которые отзываются на влияние факторов сейсмостойкого проектирования и охватывают широкую область знаний.

Методологический подход к постановке и решению основных задач архитектурного моделирования жилых зданий и жилой застройки может способствовать обеспечению их сейсмической устойчивости и сейсмической безопасности. В настоящее время мы прослеживаем очередную волну формирования архитектурного характера жилой застройки, которая, в соответствии с современными требованиями, имеет потенциальную тенденцию повышения качества архитектуры жилой застройки.

Отечественный опыт строительства крупнопанельных жилых зданий по индивидуаль-

ным проектам и зарубежный опыт строительства жилых зданий, новые разработки ученых (такие, как индустриальная конструктивно-технологическая система для малоэтажного строительства в сейсмических районах) указывают на более широкие возможности формирования сейсмостойких жилых зданий.

Повышение качества архитектуры жилых зданий по технологии КПД может быть реализовано при использовании эффективного архитектурного конструирования.

Совершенствование методов проектирования и изготовления сборных изделий расширяет возможности архитектурного моделирования. Внедряются новые технологии отделки фасадов в заводских условиях, появилась возможность использования разнообразных вентилируемых фасадных систем с широким спектром цветовой гаммы и фактур облицовочных поверхностей, современные технологии заполнения световых проемов и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Архитектурное проектирование жилых зданий / под ред. М.В. Лисициана, Е.С. Пронина. М.: Архитектура-С, 2006. 448 с.
2. Белаш Т.А., Зенченкова Д.В. Сейсмостойкие конструкции крупнопанельных зданий // *Academia. Архитектура и строительство*. 2019. № 3. С. 130–137. <http://doi.org/10.22337/2077-9038-2019-3-130-137>.
3. Бержинская Л.П., Саландаева О.И., Базаров А.Д., Киселев Д.В., Дэмбэрэл С. Оценка сейсмической надежности современной застройки г. Улаанбаатара // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2014. №1. С. 49–54.
4. Зейферт М.Г. Градостроительные аспекты реконструкции жилой среды // *Известия КГАСА*. 2004. № 1 (2). С. 21–24.
5. Коссаковский В.А., Чистова В.А. Архитектурная композиция жилого дома. М.: Стройиздат, 1990. 237 с.
6. Матвеев Е.П. Реконструкция жилых зданий: в 2 ч. Часть II. Индустриальные технологии реконструкции жилых зданий различных периодов постройки. М.: ГУП ЦПП, 1999. 364 с.
7. Опыт решения жилищной проблемы в городах Сибири в XX – нач. XXI вв. Новосибирск: Параллель, 2008. 216 с.
8. Проект новой Российской сейсмической шкалы // *Инженерные изыскания*. 2011. № 10. С. 62–71.
9. Саландаева О.И., Бержинская Л.П. Градостроительные особенности жилой застройки города Шелехова в условиях высокой сейсмичности // *Вестник ИрГТУ*. 2013. № 6. С. 97–105.
10. Саландаева О.И., Бержинская Л.П. Формирование архитектурно-типологического ряда жилых зданий и территорий города Улан-Батора в условиях высокой сейсмичности // *Вестник ИрГТУ*. 2013. № 11. С. 117–186.
11. Саландаева О.И. Формирование архитектурно-конструктивных приемов жилой застройки г. Иркутска в условиях высокой сейсмичности // *Вестник ИрГТУ*. 2015. № 2. С. 132–145.
12. Творчество ленинградских архитекторов. Л.: Стройиздат, Ленингр. Отд-ние, 1979. 304 с.
13. Demberel S., Klyuchevskii A.V., Bayaraa G. Strong earthquake in Mongolia in the past, today, tomorrow // *The 9th General Assembly of Asia Seismological Commission*. Ulaanbaatar, 2012. p. 152.
14. Kawase H., Mathema M.E. Earthquake Disaster Risk Management Scenario for Ulaanbaatar City, Mongolia // *Final Report Submitted to United Nations Development Programme in Mongolia*. Ulaanbaatar: City Ulaanbaatar, 2000. 193 p.
15. Nowakowski P. Functional and Aesthetic Aspects of Modernization of Large Panel Residential Buildings // *Charytonowicz J., Falção C. (eds.). Advances in Human Factors in Architecture, Sustainable Urban Planning and Infrastructure*. AHFE 2019. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. Vol. 966. p. 335–346. https://doi.org/10.1007/978-3-030-20151-7_32.

REFERENCES

1. Lisitsian MV, Pronina ES (eds). Architectural design of residential buildings. Moscow: Architecture-S; 2006. 448 p. (In Russ.).
2. Belash TA, Zenchenkova DV. Earthquake-resistant design of large-panel buildings. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo*. 2019;3:130-137. (In Russ.). <http://doi.org/10.22337/2077-9038-2019-3-130-137>.
3. Berzhinskaya LP, Salandaeva OI, Bazarov AD, Kiselev DV, Demberel S. Seismic reliability of modern housing in Ulaanbaatar city. *Seismostoitkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii = Earthquake engineering. Constructions safety*. 2014;1:49-54. (In Russ.).
4. Zeifert MG. Urban planning aspects of the reconstruction of the living environment. *Izvestiya KGASA*. 2004;1(2):21-24. (In Russ.).
5. Kossakovskiy VA, Chistova VA. Architectural composition of a residential building. Moscow: Stroyizdat; 1990. 237 p.
6. Matveev EP. Reconstruction of residential buildings: in 2 parts. Part II. Industrial technologies for the reconstruction of residential buildings of various periods of construction. Moscow: GUP TsPP; 1999. 364 p. (In Russ.).
7. The experience of solving the housing problem in the cities of Siberia in the XX - beginning XXI centuries. Novosibirsk: Parallel; 2008. 216 p.
8. Draft of a new Russian seismic scale. *Inzhenernye izyskaniya*. 2011;10:62-71. (In Russ.).
9. Salandaeva OI, Berzhinskaya LP. Town planning features of Shelekhov residential development under high seismicity conditions. *Vestnik IrGTU = Proceedings of ISTU*. 2013;6:97-105. (In Russ.).
10. Salandaeva OI, Berzhinskaya LP. Formation of architectural and typological range of residential buildings and areas in Ulaanbaatar under conditions of high seismicity. *Vestnik IrGTU = Proceedings of ISTU*. 2013;11:117-186. (In Russ.).
11. Salandaeva OI. Formation of architectural and constructive techniques for Irkutsk residential development under conditions of high seismicity. *Vestnik IrGTU = Proceedings of ISTU*. 2015;2:132-145. (In Russ.).
12. Creativity of Leningrad architects. Leningrad: Stroyizdat, Leningrad. Separate; 1979. 304 p. (In Russ.).
13. Demberel S, Klyuchevskii AV, Bayaraa G. Strong earthquake in Mongolia in the past, today, tomorrow. *The 9th General Assembly of Asia Seismological Commission*. Ulaanbaatar, 2012. p. 152.
14. Kawase H, Mathema ME. Earthquake Disaster Risk Management Scenario for Ulaanbaatar City, Mongolia. *Final Report Submitted to United Nations Development Programme in Mongolia*. Ulaanbaatar: City Ulaanbaatar; 2000. 193 p.
15. Nowakowski P. Functional and Aesthetic Aspects of Modernization of Large Panel Residential Buildings. In: Char-ytonowicz J., Falcão C. (eds.). *Advances in Human Factors in Architecture, Sustainable Urban Planning and Infrastructure. AHFE 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing*. Vol. 966. p. 335-346. https://doi.org/10.1007/978-3-030-20151-7_32.

Сведения об авторе

Саландаева Ольга Ивановна,
доцент кафедры
архитектуры и градостроительства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
ведущий инженер отдела сейсмостойкого
строительства,
Институт земной коры СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128,
Россия,
e-mail: salandaeva@rambler.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6887-4113>

Information about the author

Olga I. Salandaeva,
associate professor,
Department of architecture and urban planning,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
Lead Engineer of the Earthquake Engineering
Department,
Institute of the Earth's Crust SB RAS,
128 Lermontov St., Irkutsk 664033, Russia,
e-mail: salandaeva@rambler.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6887-4113>

Заявленный вклад автора

Саландаева О.И. подготовила статью в полном объеме и несет ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 25.06.2021.
Одобрена после рецензирования 21.07.2021.
Принята к публикации 23.07.2021.

Contribution of the authors

Salandaeva O. I. has prepared the article for publication and is responsible for plagiarism.

Conflict of interests

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

The article was submitted 25.06.2021.
Approved after reviewing 21.07.2021.
Accepted for publication 23.07.2021.



Архитектура храма на озере Сугомак в городе Кыштыме Челябинской области

© С. Г. Шабиев, В. А. Квач, Я. М. Кобылова

Южно-Уральский государственный университет (НИУ), г. Челябинск, Россия

Резюме: Цель – на основе комплексных предпроектных исследований разработать эскизный проект православного храма с благоустройством прилегающей территории, который будет соответствовать православным канонам и требованиям современной архитектуры на уровне генплана и отдельного объекта. Для реализации поставленной цели применялись методы, включающие: натурное обследование с использованием геоинформационных систем будущего участка строительства на озере Сугомак в городе Кыштыме Челябинской области; изучение нормативной документации; исследование и сравнительный анализ культовых сооружений в нашей стране и за рубежом с установлением канонов православного зодчества; выбор оптимального решения на основе многовариантного проектирования с экологическим благоустройством и озеленением прилегающей территории. Были обследованы местные условия, выявлены особенности организации движения, определены климатические характеристики территории. В результате использования инструментария современной архитектурной науки представлено не имеющее аналогов проектное решение храма в стиле минимализм, соответствующее всем градостроительным и архитектурным требованиям. С возведением комплекса храма, органически вписывающегося в окружающий ландшафт, проектируемая территория обретет композиционно завершенный и современный вид. Представленное архитектурное решение может быть использовано в проектах православных храмов на территории других регионов России, а также в странах ближнего и дальнего зарубежья.

Ключевые слова: православный храм, архитектурное проектирование, генеральный план, благоустройство территории, каноны православного зодчества, культовые сооружения

Для цитирования: Шабиев С. Г., Квач В. А., Кобылова Я. М. Архитектура храма на озере Сугомак в городе Кыштыме Челябинской области // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2021. Т. 11. № 3. С. 562–573. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-562-573>.

The architecture of a church on Lake Sugomak in Kyshtym, Chelyabinsk region

Salavat G. Shabiev, Vitaly A. Kvach, Yana M. Kobylova

South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia

Abstract: This work aimed to develop a schematic design of an orthodox church, based on complex prior design studies, with improved surrounding grounds. The church should meet orthodox canons and requirements of modern architecture at the level of a general layout and a single object. To achieve this goal, the following methods were used: an on-site survey using geoinformation systems of the future construction site at Lake Sugomak in Kyshtym, Chelyabinsk region; a study of regulatory documents; a comparative analysis of religious architecture in Russia and abroad to determine the canons of Orthodox architecture; selection of an optimal solution based on a multivariate design with environmental improvement and landscape gardening of the surrounding grounds. Local conditions were examined, the traffic management and climate characteristics of the territory were determined. Owing to the instruments of modern architectural science, a unique design solution of a minimalist church was elaborated, following all urban and architectural requirements. With the erection of a temple complex, which blends seamlessly into the landscape, the designed territory will acquire a compositionally complete and contemporary appearance. The architectural solution presented can be used in designing Orthodox temples in other regions of Russia, as well as in near- and far-abroad countries.

Keywords: Orthodox church, modern architectural design, general plan, adjacent landscaping, canons of Orthodox architecture, religious buildings

For citation: Shabiev S. G., Kvach V. A., Kobylova Ya. M. The architecture of a church on Lake Sugomak in Kyshtym, Chelyabinsk region. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2021;11(3):562-573. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-562-573>.

Введение

Расширение строительства культовых сооружений обусловлено духовной потребностью в возведении новых и реставрации существующих храмов, церквей и др. В России архитектура православных храмов достаточно консервативна на фоне прогрессирующего развития стилистики мирового культового зодчества [1, 2]. Актуальность создания храма в современной архитектурной практике вполне очевидна. На сегодняшний день количество культовых сооружений в стране возросло до 38 тысяч, в том числе в Челябинской области – до 250, и, несомненно, их число будет расти. Это значит, что современная архитектура нуждается в модернизации такого рода сооружений¹ [3].

Следует отметить, что проектирование культового здания – непростая задача для архитектора. Он должен обладать знаниями канонов православного зодчества, грамотно использовать их в современных направлениях развивающейся архитектуры [4, 5]. При создании гармоничной архитектуры, правильной разработке благоустройства храм обретет статус не только места обращения к «высшим силам», но и социально привлекательного объекта.

В современном мире молодому поколению уже небезразлична судьба его города. Оно хотело бы видеть вокруг новый, комфортный для жизни мир, включающий и культовые сооружения. Поэтому следует пересмотреть отношение к проектированию сакральных сооружений в нашей стране. В мире новых технологий и больших возможностей стало вполне реальным сочетать элементы современного искусства и типологии православных церквей. Вероятно, это станет новым направлением в архитектуре, но для его формирования необходимы новые, дополнительные научные исследования в области культового зодчества, в значительной степени влияющего в будущем на облик города [6].

Методы

В данном исследовании была произведена оценка храмов с точки зрения планиро-

вочной структуры и градостроительной ситуации. Если не принимать во внимание храмы и церкви, которые были возведены еще в прошлом веке, то можно увидеть, что отечественное современное проектирование культового сооружения фактически не отличается от проектирования прошлых лет, строится по тем же принципам. Устоявшиеся традиции и правила планирования храма начинают искажать современный облик города и сформированную природой ландшафтную структуру. Также немаловажное значение в планировании здания имеет градостроительная ситуация. Гармоничная связь с окружающей средой объекта проектирования может стать основой настоящего архитектурного произведения искусства [7, 8].

Анализ мировых примеров показал, что особый интерес представляют православные храмы именно за рубежом, так как в отечественном культовом строительстве нетрадиционные архитектурные формы развиты в меньшей степени. Зарубежные культовые объекты могут служить местной архитектурной достопримечательностью, например, церковь в Швейцарии по проекту постмодерниста Марио Ботты, знаменитые церкви Исландии или церковь Хосемария Эскрива Балагер в Мехико. В качестве примеров современного зарубежного планирования культовых сооружений в городской среде были изучены такие сооружения, как Часовня святого креста (Аризона, США), Общинная церковь (Кнарвик, Норвегия), Часовня (Кардедеу, Испания), Православный храм (Гайнувк, Польша), Российский духовно-культурный православный центр (Париж, Франция), обладающие уникальным архитектурным обликом [9, 10].

В эскизном проектом предложении храма на озере Сугомак в городе Кыштыме Челябинской области представлены авторские градостроительные и объемно-пространственные решения.

Результаты и их обсуждение

На основе натурных обследований участка проектирования с использованием геоинформационных систем установлено, что территория проектирования храма расположена

¹МДС 31-9.2003. Православные храмы: в 3 т. Т. 2. Православные храмы и комплексы: пособ. по проектированию и строительству к СП 31-103-99 2001. М.: ГУП ЦПП, 2003. С. 38–41.

в лесополосе, на побережье озера Сугомак в г. Кыштыме Челябинской области (рис. 1). Данная местность находится на возвышенности и обладает богатым горным ландшафтом и прекрасными пейзажами. Ансамбль из озера Сугомак и одноименной горы Сугомак раскинулся на туристическом маршруте города и является центром притяжения для туристов, гостей города и его жителей. Место для проектирования было выбрано не случайно, с учетом особенностей психологического восприятия людьми окружающей среды. Часто человек хочет побыть наедине с природой, и он уединяется подальше от городской суеты, где может наслаждаться природными пейзажами. Сочетание природы и культового сооружения может дать территории особую «энергетику», что немаловажно в проектировании сакральных зданий.

Территория комплекса обеспечивает свободный подъезд и организацию парковочных мест. Для пешеходов и туристов возможно прохождение на территорию по тротуарам и предложенным лесным тропинкам. Общественный транспорт для данной местности можно обеспечить, установив напротив комплекса остановку транспорта и организовав маршрут от центра города до храма, это сделает связь с комплексом более удобной и для маломобильных групп населения.

Композиция комплекса зрительно разделена на несколько частей: здание храма с выступающей над водой цокольной частью, зона парковочных мест, рассчитанная как для служителей храма, так и для прихожан, и зона отдыха, оформленная в виде амфитеатра (рис. 2).

В основе архитектурно-художественного образа храма лежит образ святых Иоакима и Анны. Утонченное здание храма символизирует образ Анны, а высокая, устремляющаяся ввысь, часть с колокольней символизирует образ Иоакима. Объект запроектирован в стиле минимализм (рис. 3). Простота форм храма, его геометричность обусловлена стремлением человека вновь стать частью природы, поскольку органичное вписывание объекта в природный ландшафт – это одна из главных идей эскизного проекта. Основная часть храма в форме призмы имеет высоту 30 м. Прямоугольная форма храма в плане размерами 19x15 м позволяет выделить главный вход. По канонам православного зодчества он находится с западной стороны, и непосредственно над ним размещена религиозная символика. Композиционно выделяются входы с северной и южной сторон храма, также акцентированные символикой.



Рис. 1. Топографическая съемка части территории Челябинской области с указанием места проектирования (выделено красным цветом)

Fig. 1. Topographic survey of the territory of the Chelyabinsk region with an indication of the place of design (highlighted in red color)

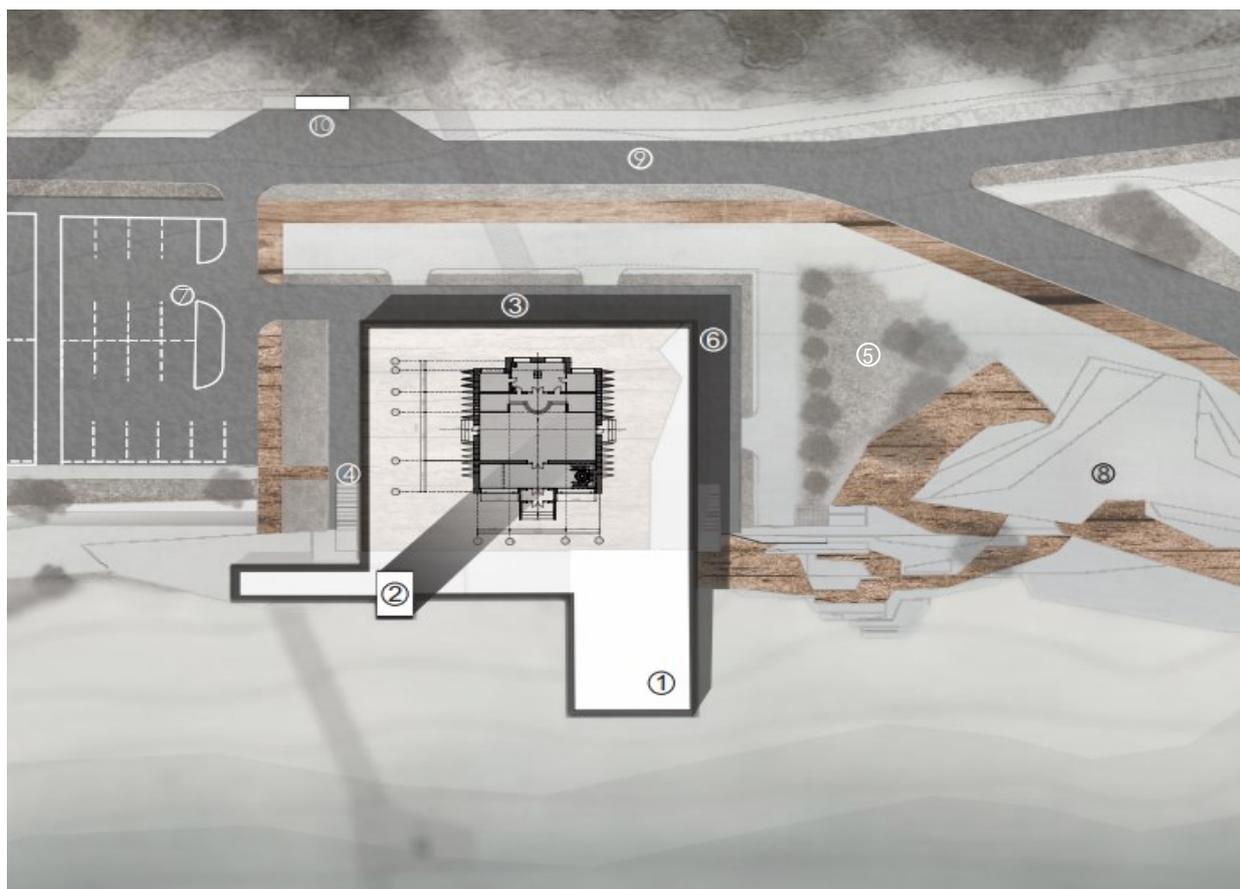


Рис. 2. Схема генерального плана храма в Челябинской области: 1 – проектируемый объект; 2 – колокольня; 3 – пожарный проезд; 4 – служебный вход; 5 – аллея; 6 – вход в школу; 7 – парковка; 8 – амфитеатр; 9 – магистраль; 10 – остановка

Fig. 2. Scheme of the master plan of the temple in the Chelyabinsk region: 1 – designed object; 2 – bell tower; 3 – fire passage; 4 – service entrance; 5 – alley; 6 – entrance to the school; 7 – parking; 8 – amphitheater; 9 – highway; 10 – stop

В восточной части находится алтарь с примыкающими к нему паномаркой и ризницей. На западной стороне располагаются паперть и притвор, в котором предусмотрена свечная лавка. Через притвор по винтовой лестнице осуществляется подъем на хоры (рис. 3, *b*). Конструкция стен храма выполнена из деревоклееной балочной конструкции с антипиреновой пропиткой, а сборка осуществляется на строительной площадке [11]. Конструкция крыши выполнена из нержавеющей стали с покрытием оксида титана. Цокольная часть храма имеет площадь более 1050 кв. м и вмещает помещения для священнослужителей, приходскую школу, крестильную [12, 13]. В «парящей» над озером части размещены зимний сад для при-

хожан с отдельным входом и конференц-зал для священнослужителей. Конструкция цоколя выполнена из монолитного железобетона (рис. 4).

При создании эскизного проекта особое внимание было уделено символике православной церкви². С восточной стороны храма использовано витражное остекление, двойной стеклопакет [14]. Графическая композиция выполнена цветной морозостойкой пленкой, что дает возможность получить не только индивидуальный, но и долговечный рисунок фасада (рис. 5, 6).

С западной стороны в качестве ограждающей конструкции для цоколя используется панорамное остекление в зимнем саду и конференц-зале.

²Маслов Н.В. Градостроительная экология: учеб. пособ. М.: Высшая школа, 2003. С. 20–21.

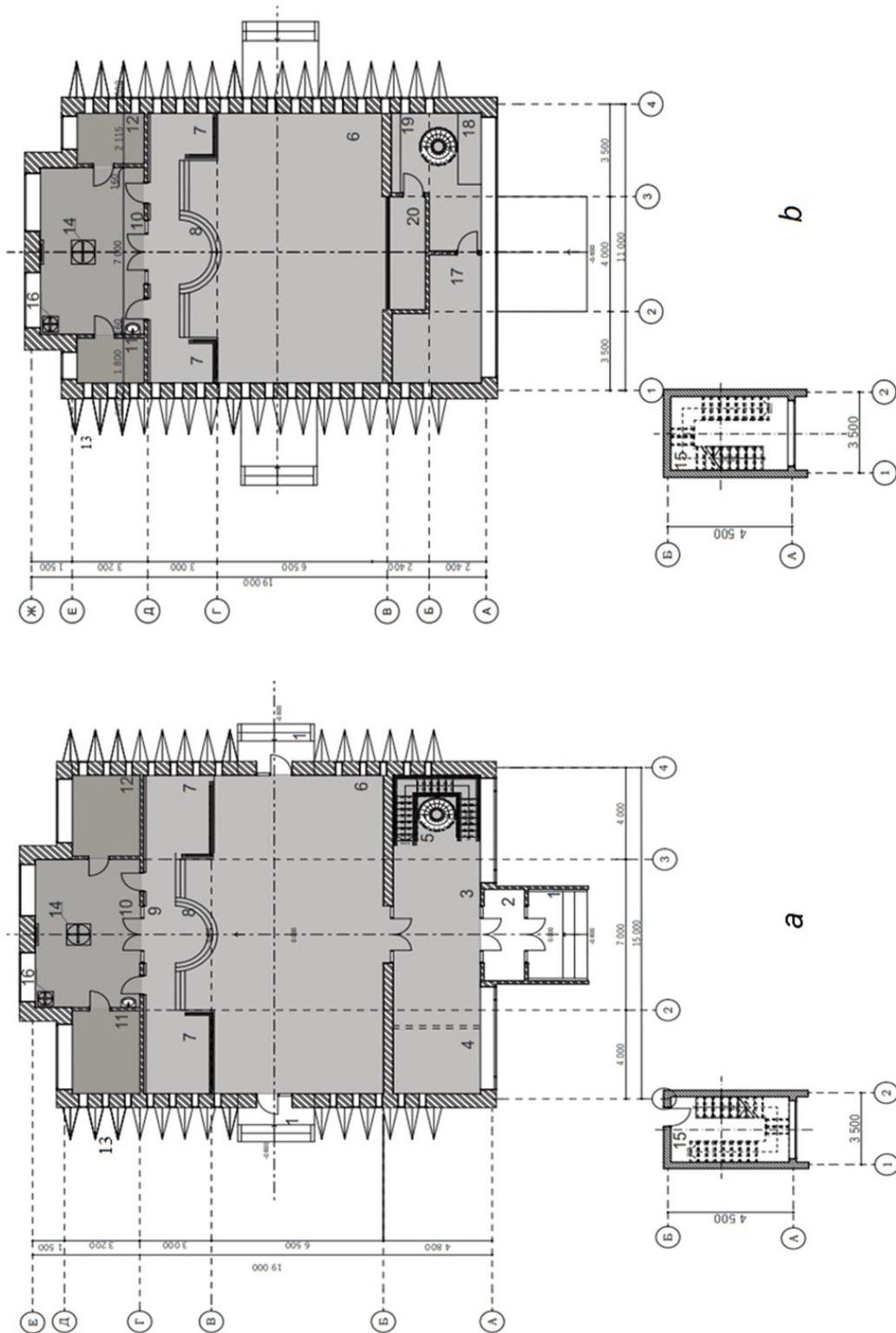


Рис. 3. План первого (а) и второго (б) этажа: 1 – паперть; 2 – крыльцо; 3 – притвор; 4 – лавка; 5 – лестница; 6 – тело храма; 7 – клиросы; 8 – амвон; 9 – иконостас; 10 – алтарь; 11 – пономарка; 12 – ризница; 13 – ризница; 13 – горное место; 14 – престол; 15 – колокольня; 16 – жертвенник; 17 – кабинет настоятеля; 18 – гардероб; 19 – нотная комната; 20 – хоры

Fig. 3. Plan of the second floor: 1 – porch; 2 – porch; 3 – porch; 4 – shop; 5 – stairs; 6 – the body of the temple; 7 – kliros; 8 – pulpit; 9 – iconostasis; 10 – altar; 11 – sequin brand; 12 – sacristy; 13 – mountainous place; 14 – throne; 15 – bell tower; 16 – an altar; 17 – abbot's office; 18 – wardrobe; 19 – music room; 20 – choirs



Рис. 5. Фасад храма
Fig. 5. Facade of the temple



Рис. 6. Общий вид храма
Fig. 6. General view of the temple

Сплошное остекление до пола обеспечивает вариативность формы и воздушность конструкции за счет отражения в нем окружающей среды³. Также такое остекление обеспечивает максимальное проникновение солнечного света в помещение и дает возможность любоваться природным пейзажем. Конфигурация существующего лесного массива оказывает значительное влияние на планирование организации всей территории комплекса. Главная задача – максимально гармонично, без вмешательства в экосистему леса вписать новые элементы благоустройства в

местный пейзаж. Для основной аллеи используется шероховатая плитка, имитирующая бетон, а для тропинок на территории леса был выбран массив дерева (рис. 7, 8).

Экологическое благоустройство территории парка невозможно осуществлять без эффективной системы водоотведения. Она предотвращает разрушение покрытий и объектов ландшафта, своевременно удаляя талую воду и дождевые потоки из них.

Для сооружения системы дренажа используются лотки – дождевые бетонные.



Рис. 7. Фрагмент благоустройства территории храма с восточной стороны
Fig. 7. A fragment of the improvement of the territory of the temple from the east side

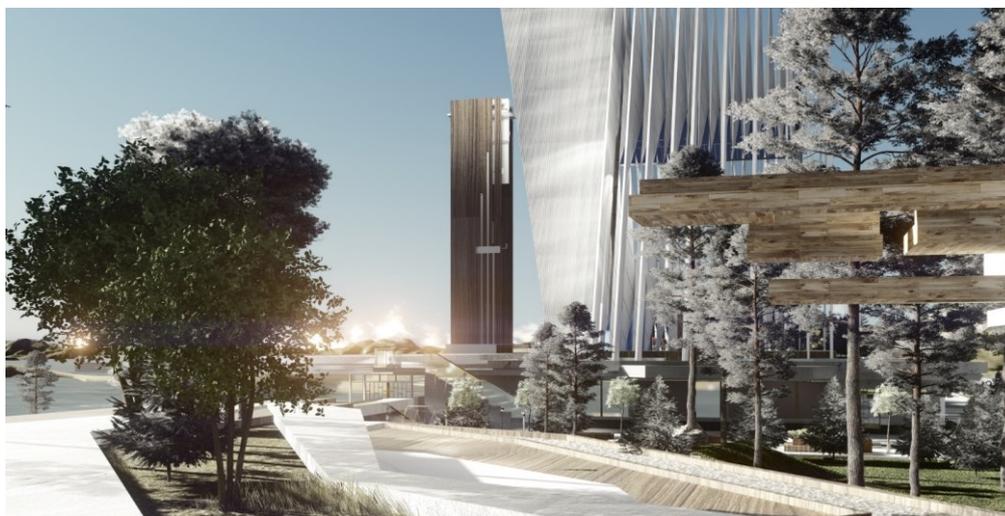


Рис. 8. Фрагмент благоустройства территории храма с западной стороны
Fig. 8. A fragment of the improvement of the territory of the temple from the western side

³СП 31-103-99. Здания, сооружения и комплексы православных храмов / Госстрой России. М.: ГУП ЦПП, 2000. С. 35–41;
СП 258.1311500.2016. Объекты религиозного назначения. Требования пожарной безопасности: введ. 01.01.2017. М.: Стандартинформ, 2017. С. 16–17.

Все деревья остались нетронутыми и сохраняют свое расположение, деликатно вписываясь в новые условия проекта и современный ландшафт. На побережье был разработан огромный амфитеатр. Он спроектирован из массива дерева, чтобы гармонизировать с окружающей средой, также был использован

пористый бетон⁴. На амфитеатре предусмотрены скамейки для отдыха и спуск к воде, а также врезаны клумбы⁵. Это сделано для того, чтобы деревья, растущие вдоль берега, сохранили свое первоначальное место расположения (рис. 9).

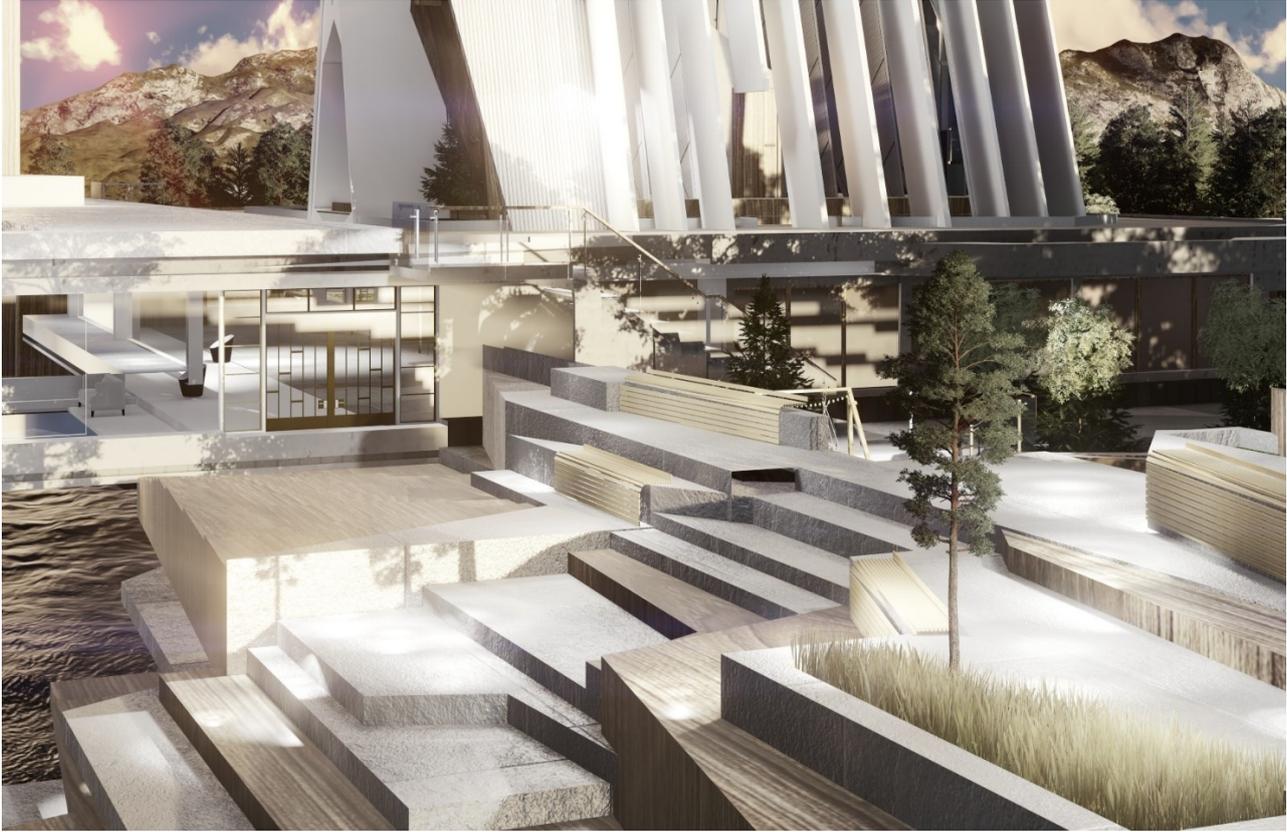


Рис. 9. Благоустройство амфитеатра
Fig. 9. Improvement of the amphitheater

Заключение

В результате проведенных исследований и многовариантных разработок был создан эскизный проект храма на озере Сугомак в городе Кыштыме Челябинской области, в котором использованы современные методы архитектурного проектирования. Получено уникальное градостроительное и объемно-планировочное решение с использованием канонов православного зодчества. Преду-

смотрено максимальное сохранение существующего ландшафта лесополосы с экологическим благоустройством и озеленением всей территории комплекса.

Архитектурно-художественное решение в стиле минимализм, не имеющее аналогов, органично впишется в существующую градостроительную ситуацию данной местности и может быть использовано в других регионах России и за рубежом.

⁴СП 391.1325800. Храмы православные. Правила проектирования: введ. 23.06.2018. М.:Стандартинформ, 2018. С. 6–23;

ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. введ. 01.07.1992 (взамен ГОСТ 12.1.004-85). М.: Изд-во стандартов, 1996. С. 68–69.

⁵ГОСТ 23407-78. Ограждения инвентарные строительных площадок и участков производства строительномонтажных работ. Технические условия: введ. 01.07.1979. М.: Изд-во стандартов, 1979. С. 6–7;

ГОСТ 12.1.046-2014. ССБТ. Строительство. Нормы освещения строительных площадок: введ. 01.07.2015. М.: Стандартинформ, 2015. С. 30–31.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юбилейный Архиерейский Собор Русской Православной Церкви. Материалы. М.: Издательский Совет Московского Патриархата, 2001. С. 38–41.
2. Макотина С.А. Развитие и эксплуатация выставочных и поствыставочных территорий всемирной универсальной выставки 1893 года в Чикаго (США) // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2014. № 1 (6). С. 125–139.
3. Православные храмы Челябинской области: история и архитектура. Челябинск: Авто Граф, 2008. С. 256–267.
4. Минаков С.А. Храмы России. М.: ЭКСМО, 2010. С. 764–771.
5. Верховых Е.Ю. Канон в архитектуре православного храма // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2010. №4. С. 20–27.
6. Шульц А.С. Экологические подходы к проектированию устойчивой городской среды // AMIT. 2021. № 1 (54). С. 227–235. <http://doi.org/10.24412/1998-4839-2021-1-227-235>.
7. Ильмуратова И.Л., Агранович В.А. Пространство православного храма: история и современность // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. № 4. 2010. С. 44–50.
8. Шевцова Т.И. Православный иконостас. Происхождение, виды, духовный смысл. М.: ОЛМА, 2003. С. 4–31.
9. Залесов В.Г. Архитектор Эрнест Жибер и его альтернативный проект Томского университета // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 6 (59). С. 109–118.
10. Шабиев С.Г. Архитектурно-художественный образ часовни Святого Апостола Андрея Первозванного // Наука ЮУрГУ: Материалы 63-й научной конференции. Секция технических наук (Челябинск, 10–13 апреля 2011 года). Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2011. С. 84–87.
11. Шабиев С.Г. Архитектурно-композиционная концепция часовни Святого апостола Андрея Первозванного в г. Челябинске // Вопросы планировки и застройки городов: Материалы 18 международной научно-практической конференции. Пенза: ПГУАС, 2011. С. 130–131.
12. Поморов С.Б. Университетская часовня во имя святой Татьяны, студентов // Архитектура. Градостроительство. Дизайн: материалы международной научно-методической конференции (Барнаул, 25–26 мая 2005 года). Барнаул, 2005. С. 77–78.
13. Антипин Н.А. Урбанизация и здоровье населения: экологический аспект // Здоровье – основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. 2010. Т. 5. № 1. С. 137–142.
14. Акимова М.И., Сальников Е.М. Архитектурная типология часовен // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. Т. 20. № 4. С. 9–19. <http://doi.org/10.31675/1607-1859-2018-20-4-9-19>.

REFERENCES

1. Jubilee Council of Bishops of the Russian Orthodox Church. Materials. Moscow: Publishing Council of the Moscow Patriarchate; 2001. p. 38-41. (In Russ.).
2. Makotina SA. Development and exploitation of exhibitional and post-exhibitional areas of the world universal exposition in Chicago in 1893 (the USA). *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2014;1(6):125-139. (In Russ.).
3. Orthodox churches of the Chelyabinsk region: history and architecture. Chelyabinsk: Auto Graf; 2008. p. 256-267. (In Russ.).
4. Minakov SA. Temples of Russia. Moscow: EKSMO; 2010. p. 764-771. (In Russ.).
5. Verkhovykh EYu. Canon in the architecture of an Orthodox church. *Akademicheskii vestnik UralNIIProekt RAASN*. 2010;4:20-27. (In Russ.).
6. Shultz AS. Ecological approaches in sustainable urban planning. *AMIT*. 2021. № 1 (54). p. 227–235. (In Russ.). <http://doi.org/10.24412/1998-4839-2021-1-227-235>.
7. Ilmuratova IL, Agranovich VA. The space of an Orthodox church: history and modernity. *Akademicheskii vestnik UralNIIProekt RAASN*. 2010;4:44-50. (In Russ.).
8. Shevtsova TI. Orthodox iconostasis. Origin, types, spiritual meaning. Moscow: OLMA; 2003. p. 4-31. (In Russ.).
9. Zalesov VG. Architect Ernest Gibert and his alternative project of Tomsk state university. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2016;6(59):109-118. (In Russ.).

10. Shabiev SG. The architectural and artistic image of the chapel of the Holy Apostle Andrew the First-Called. *Nauka YuUrGU: materialy 63-i nauchnoi konferentsii. Sektsiya tekhnicheskikh nauk (Chelyabinsk, 10–13 April 2011)*. Chelyabinsk: SURGU, 2011. p. 83-85. (In Russ.).

11. Shabiev SG. The architectural and compositional concept of the chapel of St. Andrew the First-Called in the city of Chelyabinsk. *Voprosy planirovki i zastroiki gorodov: Materialy 18 mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Penza: PGUAS; 2011. p. 130-131. (In Russ.).

12. Pomorov SB. University chapel in the name of St. Tatiana, students. *Arkhitektura*.

Gradostroitel'stvo. Dizain: Materialy mezhdunarodnoi nauchno-metodicheskoi konferentsii (Barnaul, 25–26 May 2005). Barnaul, 2005. p. 77-78. (In Russ.).

13. Antipin NA. Urbanization and public health: an ecological aspect. *Zdorov'e – osnova che-lovecheskogo potentsiala: problemy i puti ikh resheniya*. 2010;5(1):137-142. (In Russ.).

14. Akimova MI, Salnikov EM. Architectural typology of chapels. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2018;20(4):9-19. <http://doi.org/10.31675/1607-1859-2018-20-4-9-19>. (In Russ.).

Сведения об авторах

Шабиев Салават Галиевич,

доктор архитектуры, профессор,
заведующий кафедрой архитектуры,
Южно-Уральский государственный
университет,
454080, Челябинск, пр. Ленина, 76,
Россия,
✉e-mail: shabievsg@susu.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9405-2079>

Квач Виталий Александрович,

доцент кафедры архитектуры,
Южно-Уральский государственный
университет,
454080, Челябинск, пр. Ленина, 76,
Россия,
e-mail: kvachbrest@mail.ru

Кобылова Яна Михайловна,

бакалавр архитектуры,
Южно-Уральский государственный
университет,
454080, Челябинск, пр. Ленина, 76,
Россия,
e-mail: yanakobylova74@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4975-4076>

Заявленный вклад авторов

Шабиев С. Г., Квач В. А., Кобылова Я. М. имеют равные авторские права. Кобылова Я. М. несет ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors

Salavat G. Shabiev,

Doctor of Architecture, Professor,
Head of the Department of Architecture,
South Ural State University,
76 Lenina St., Chelyabinsk, 454080, Russia,
✉e-mail: shabievsg@susu.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9405-2079>

Vitaly A. Kvach,

Assistant professor of the Department
of Architecture,
South Ural State University,
76 Lenina St., Chelyabinsk, 454080, Russia,
e-mail: kvachbrest@mail.ru

Yana M. Kobylova,

Bachelor of Architecture,
South Ural State University,
76 Lenina St., Chelyabinsk, 454080, Russia,
e-mail: yanakobylova74@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4975-4076>

Contribution of the authors

Shabiev S. G., Kvach V. A., Kobylova Ya. M. have equal author's rights. Kobylova Ya. M. bears the responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

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

Статья поступила в редакцию 14.07.2021.
Одобрена после рецензирования 10.08.2021.
Принята к публикации 12.08.2021.

The article was submitted 14.07.2021.
Approved after reviewing 10.08.2021.
Accepted for publication 12.08.2021.

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

Мы приглашаем Вас к участию в нашем журнале в качестве авторов, рекламодателей, читателей и сообщаем требования к статьям, принимаемым к публикации.

Журнал «Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость» публикует научные статьи и обзоры российских и зарубежных ученых, в том числе докторантов и аспирантов, содержащие новые результаты научных исследований.

Тематический охват соответствует утвержденной номенклатуре научных специальностей:

из отрасли 05.00.00 Технические науки:

Группа специальностей **05.23.00 Строительство и архитектура (ВАК):**

- 05.23.01 Строительные конструкции, здания и сооружения
- 05.23.02 Основания и фундаменты, подземные сооружения
- 05.23.03 Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение
- 05.23.04 Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов
- 05.23.05 Строительные материалы и изделия
- 05.23.07 Гидротехническое строительство
- 05.23.08 Технология и организация строительства
- 05.23.11 Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей
- 05.23.16 Гидравлика и инженерная гидрология
- 05.23.17 Строительная механика
- 05.23.19 Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства
- 05.23.20 Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия
- 05.23.21 Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности
- 05.23.22 Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов

из отрасли 08.00.00 Экономические науки:

Специальность **08.00.05 Экономика и управление народным хозяйством: экономика, организация, управление предприятиями, отраслями, комплексами (строительство), управление инновациями, региональная экономика (РИНЦ).**

Представляемая в журнал работа должна быть законченным научным исследованием и содержать новые научные результаты, нигде ранее не публиковавшиеся и не представленные к публикации в других изданиях.

Статьи должны быть выполнены на высоком научном уровне и содержать результаты исследований по соответствующей проблематике. Рукопись, присылаемая в редакцию, должна соответствовать тематике журнала и требованиям редакции к оформлению рукописей.

1. Материалы, представляемые авторами в редакцию:

- Статья в печатном виде и идентичном варианте в электронной форме (с расширением *.doc и *.pdf);
- Иллюстрации к статье (рисунки, графики и т.д.) в электронном виде (в формате jpg);
- Авторское заявление;
- Сопроводительное письмо;
- Договор;
- Экспертное заключение.

2. Рукопись должна быть построена следующим образом:

- **Шифр УДК;**
- **Название статьи;**
- **Информация об авторах:** фамилия, имя, отчество; название учреждения;
- **Реферат (аннотация)** – количество слов – 200;
- **Ключевые слова** – (4–6);
- **Библиографические ссылки** должны быть соответственно оформлены:

1 вариант: Библиографический список – приводится русскоязычный вариант вместе с зарубежными источниками. Оформляется согласно ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления». Ссылки на электронные документы должны оформляться согласно ГОСТ 7.82-2001 «Библиографическая запись. Библиографическое описание электронных ресурсов». Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

2 вариант: *References* (для зарубежных баз данных) – приводится полностью отдельным блоком, повторяя список литературы к русскоязычной части, независимо от того, имеются или нет в нем иностранные источники. Если в списке есть ссылки на иностранные публикации, то они полностью повторяются в списке, готовящемся в романском алфавите.

В статье должны быть ссылки на иностранные источники, изданные не ранее, чем за последние 5 лет, свидетельствующие о том, что автором изучен вклад ученых разных стран в исследование проблемы.

- **Критерии авторства, конфликт интересов;**
- **Сведения об авторах:** фамилия, имя, отчество (полностью); ученая степень, звание и должность; название учреждения, его адрес с индексом; e-mail; ORCID.
- **Название рубрики**, в которой должна быть размещена статья.

3. Рекомендации по набору и оформлению текста

Параметры страницы и абзаца: отступы сверху и снизу – 2 см; слева и справа – 2 см; табуляция – 0,6 см; ориентация – книжная;

Шрифт – Arial, размер – 10, межстрочный интервал – одинарный, перенос слов – автоматический.

При вставке формул использовать *Microsoft Equation 3* при установках: элементы формулы выполняются – курсивом; для греческих букв и символов назначать шрифт Symbol, для остальных элементов – Arial.

Размер символов: обычный – 12 пт, крупный индекс – 7 пт, мелкий индекс – 5 пт, крупный символ – 18 пт, мелкий символ – 12 пт. Все экспликации элементов формул необходимо также выполнять в виде формул.

Рисунки, вставленные в текст, должны быть выполнены с разрешением 300 dpi, B&W – для черно-белых иллюстраций, Grayscale – для полутонов, максимальный размер рисунка с надписью: ширина 170 мм, высота 245 мм. Рисунки должны быть представлены в виде файла с расширением *.BMP, *.TIFF, *.JPG, должны допускать перемещение в тексте и возможность изменения размеров. Схемы, графики выполняются во встроенной программе MS Word или в MS Excel, с приложением файлов.

Для построения графиков и диаграмм следует использовать программу *Microsoft Office Excel*. Каждый рисунок вставляется в текст как объект *Microsoft Office Excel*.

Внимание! Публикация статьи является бесплатной.

Статьи направляются в редакцию журнала по электронной почте izv_isn@istu.edu. Рукописи статей и оригиналы всех необходимых документов предоставляются по адресу: 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, редакционный отдел, ауд. Д-215, Никишиной О.В.

Телефон: (3952) 40-56-11, с.т.: 8 964 656 46 70 – Никишина Ольга Валерьевна, ответственный за выпуск,

(3952) 40-54-92– Герасимова Юлия Александровна, редактор.

**ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ
ИНВЕСТИЦИИ. СТРОИТЕЛЬСТВО. НЕДВИЖИМОСТЬ**

Научный журнал

12+

Том 11 № 3 (38)

Главный редактор В. В. Пешков
Ответственный за выпуск О. В. Никишина
Дизайн и макет издания Е. В. Хохрина
Перевод Томаса Бивитта, О. В. Никишиной
Верстка О. В. Никишиной
Редактор Ю. А. Герасимова

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

Выход в свет 30.09.2021. Формат 60 x 90 / 8 (А4).
Бумага офсетная. Печать цифровая. Усл. печ. л. 24,75.
Тираж 500 экз. Зак. 139. Поз. плана бн.

Издание распространяется бесплатно

ФГБОУ ВО “Иркутский национальный исследовательский технический университет”
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

Отпечатано в типографии Издательства
ФГБОУ ВО “Иркутский национальный исследовательский технический университет”
Адрес типографии: 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 81/12а
