

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

12+



IZVESTIYA VUZOV
Investitsii
Stroitelstvo
Nedvizhimost

ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ
ИНВЕСТИЦИИ
СТРОИТЕЛЬСТВО
НЕДВИЖИМОСТЬ

Том 13 № 1
2023

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 13 № 1
Vol.**



**ИЗДАТЕЛЬСТВО
Иркутского национального исследовательского
технического университета**

**PUBLISHERS
of Irkutsk National Research Technical University
2023**



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 Минобрнауки России

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

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

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

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

Учредитель-издатель:

ФГБОУ ВО Иркутский национальный исследовательский технический университет

Подписной индекс в ООО «Урал-Пресс» - 41511

Адрес ООО «Урал-Пресс»:

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

Адрес учредителя, издателя и редакции:

664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

e-mail: izv_isn@istu.edu

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Founder, publisher: FSBEIHE Irkutsk National Research Technical University

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

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

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

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

EDITORIAL BOARD

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

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

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

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

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

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

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

Grebnyuk 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, Wrocław University of Technology (Wrocław, Poland)

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

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

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

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

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

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 13 № 1 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Ямщикова И.В. Проблемы оптимизации оплаты труда в строительстве 10

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. СТРОИТЕЛЬСТВО

Баранова А.А., Рябков М.И., Скулин А.С. Теплопроводность автоклавного газобетона при разных температурно-влажностных состояниях 20

Зырянов Е.А., Тарасова Е.В., Черненко В.П., Трухин Е.К. Использования теплоты вытяжного воздуха для жилых зданий с теплым чердаком 28

Ластовка А.В., Мурзинцев А.К. Исследование предпосылок влияния эксцентриситетов и отклонений осей на показатели напряженного-деформированного состояния железобетонных колонн в каркасах многоэтажных зданий 39

Лысова Ю.Д., Миронова Л.И., Фомин Н.И. Методика оценки уровня компетентности эксперта в области сборно-монолитного домостроения 48

Макаренко С.В. Цементы низкой водопотребности как альтернативный вид применяемой в товарном бетоне вяжущей смеси 58

Пинус Б.И., Корнеева И.Г. Изменение энергозатрат постциклического деформирования цементных композитов 64

Продоус О.А., Шлычков Д.И., Пархоменко С.В., Абросимова И.А. Зависимость фактической степени наполнения самотечных сетей водоотведения от толщины слоя осадка в лотковой части труб 70

Чупин В.Р., Йоше А.К. Оценка баланса подземных вод и их пространственного распределения в рамках миссии NASA GRACE для р. Голубой Нил в Эфиопии (Восточная Африка) 76

АРХИТЕКТУРА. ДИЗАЙН

Бобрышев Д.В., Неронова А.И. Типологические факторы градостроительного развития неудобных территорий в структуре прибрежных зон г. Иркутска 90

Большаков А.Г. Свойство природосообразности кампуса как результат формирования его планировочной модели 101

Глебова Н.М. Историзм, ревайвализм и эклектика как предвестники модернизма в сакральной архитектуре Вены 119

Саландаева О.И., Бержинская Л.П., Усатый Р.А. Формирование жилой среды г. Байкальска в структуре трансформирующегося города в сложных сейсмогеологических условиях 133

Селиванов Р.А., Большаков А.Г. Пространственная интеграция структуры застройки исторического центра г. Иркутска 151

Чистякова А.В., Шабиев С.Г. Анализ зарубежной практики архитектурно-экологического формирования современных университетских кампусов 168

CONTENTS

Proceedings of Universities
Investment. Construction. Real estate

Том 13 № 1 2023

CONTENTS

ECONOMICS AND MANAGEMENT

Yamshchikova I.V. Optimization of payroll funds in construction industry 10

TECHNICAL SCIENCES. CONSTRUCTION

Baranova A.A., Ryabkov M.I., Skulin A.S. Thermal conductivity of autoclaved aerated concrete under different temperature and humidity conditions 20

Zyryanov E.A., Tarasova E.V., Chernenkov V.P., Trukhin E.K. Using exhaust air heat for residential buildings with warm attics 28

Lastovka A.V., Murzintsev A.K. Exploring influence of eccentricities and axis deviations on stress and strain state of reinforced concrete columns in multi-story frame buildings 39

Lysova Yu.D., Mironova L.I., Fomin N.I. Methodology for assessing the competence level of experts in cast-in-place and precast construction 48

Makarenko S.V. Cements with low water demand as an alternative type of binding mixture used in ready-mixed concrete 58

Pinus B.I., Korneeva I.G. Changes in energy costs of post-cyclic deformation of cement composites 64

Prodous O.A., Shlychkov D.I., Parkhomenko S.V., Abrosimova I.A. Dependence of actual filling level of gravity flow water distribution on sediment thickness in benching part of pipes 70

Chupin V.R., Yoshe A.K. Evaluating groundwater balance and its spatial distribution as part of NASA GRACE mission for Blue Nile River (Ethiopia, East Africa) 76

ARCHITECTURE. DESIGN

Bobryshev D.V., Neronova A.I. Typological factors of urban development of inconvenient lands in the structure of Irkutsk riparian zones 90

Bol'shakov A.G. Natural conformity of a campus as a result of modelling its layout 101

Glebova N.M. Historicism, revivalism, and eclecticism as precursors to modernism in sacred Viennese architecture 119

Salandaeva O.I., Berzhinskaya L.P., Usatyy R.A. Formation of Baikalsk living environment in transforming city structure under severe seismic conditions 133

Selivanov R.A., Bolshakov A.G. Spatial integration of site development of Irkutsk historical centre 151

Chistiakova A.V., Shabiev S.G. An analysis of foreign practice in the architectural and ecological formation of contemporary university campuses 168



Проблемы оптимизации оплаты труда в строительстве

И.В. Ямщикова

Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Аннотация. В данном исследовании анализируется новый метод определения прожиточного минимума на основе медианной заработной платы в регионах с целью изучения влияния этого метода на финансирование заработной платы в строительной отрасли. Методология исследования включала экономико-статистический анализ, системный анализ, а также интеграцию теоретических и практических знаний. Проведен анализ средств, планируемых на оплату труда в составе сметной документации, и величины заработной платы, предусмотренной «Федеральным отраслевым соглашением по строительству и промышленности строительных материалов РФ», заключенным на 2020–2023 гг. В статье анализируется предложенная Правительством России новая методика определения минимального прожиточного уровня на базе медианной зарплаты, рассмотрены достоинства и недостатки метода, предложены направления оптимизации методики. Согласно полученным результатам, изменения, внесенные в методику расчета прожиточного минимума в 2021 году, не дали ожидаемых результатов. Методика требует доработки: необходимо размещать на сайте Росстата официальные показатели медианной зарплаты по регионам, расчет которой должен происходить, как минимум, раз в квартал. В Методике необходимо обосновать показатель процента (44,2%), принятый для расчета минимального прожиточного уровня от медианной зарплаты; установить минимальный предел размера минимального прожиточного уровня в регионе в размере стоимости потребительской корзины. Для точности расчета стоимости потребительской корзины предусмотреть ее корректировку по составу всех ее разделов.

Ключевые слова: минимальный прожиточный уровень, медианная заработная плата, стоимость человеко-часа рабочих-строителей, минимальная потребительская корзина, минимальный размер оплаты труда

Для цитирования: Ямщикова И.В. Проблемы оптимизации оплаты труда в строительстве // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 1. С. 10–19. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-1-10-19>.

Original article

Optimization of payroll funds in construction industry

Irina V. Yamshchikova

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. This study analyzes a new method for determining the minimum subsistence level based on the median wage in regions with the purpose of exploring the impact of this method on payroll funding in construction industry. The research methodology involved economic and statistical analysis, system analysis, as well as integration of theoretical and practical knowledge. The authors analyzed payroll fund as part of the cost estimate documentation and the wages stipulated in the “Federal Industrial Agreement on the Construction and Building Materials Industry of the Russian Federation, 2020-2023”. The authors analyzed the new method proposed by the Russian Government for determining the minimum subsistence level on the basis of the median wage, explored its advantages and disadvantages, and introduced ideas for its optimization. According to the results obtained, the changes introduced in the method for calculating the minimum subsistence level in 2021 failed to produce the expected results. The method needs to be improved in the following part. The official indicators of regional median wages should be calculated at least quarterly and posted on the official website of Rosstat. The method should justify the percentage (44.2%) adopted for the calculation of the minimum subsistence level

© Ямщикова И.В., 2023

based on the median wage. In addition, a low threshold should be established for the minimum subsistence level in a region equal to the cost of the market basket. In order to be calculated accurately, the cost of the market basket should be adjustable in terms of the content of all its sections.

Keywords: minimum subsistence level, median salary, cost per man-hour of construction workers, minimum consumer basket

For citation: Yamshchikova I.V. Optimization of payroll funds in construction industry. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'* = *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2023;13(1):10-19. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-1-10-19>.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время размер запланированных и фактических средств на оплату труда в строительстве напрямую зависит от величины минимального прожиточного уровня (МПУ) в регионе. До недавнего времени величина МПУ определялась исходя из состава минимальной потребительской корзины, введенной в 1997 г. Федеральным законом № 134-ФЗ¹. В связи с тем, что состав потребительской корзины существует с небольшими корректировками уже 23 года, созрела необходимость оптимизации методического подхода к ее определению [1]. Нынешний состав минимальной потребительской корзины закреплён в 2012 г. Федеральным законом № 227-ФЗ² и состоит из трех разделов:

1. Продукты питания.
2. Непродовольственные товары.
3. Услуги.

Непродовольственная часть МПУ привязана к продовольственной части – считается, что минимальное продовольственное потребление должно составлять 50% продуктовой корзины, и столько же – услуги. Далее к прожиточному минимуму добавляются обязательные платежи и сборы. Эта «натуральная» корзина должна пересматриваться раз в пять лет, последний раз это должно было произойти в 2018 г., но из-за существенного увеличения МРОТ и доведения его до уровня прожиточного минимума, пересмотр был отложен до конца 2020 г.

В 2020 г. Правительством России одобрен законопроект об изменении минимального размера оплаты труда (МРОТ) и прожиточного

уровня с 2021 г. Величину ограничений сопоставили с медианной заработной платой, в результате чего, по мнению Правительства России, должен был ожидаться рост заработной платы во всех отраслях промышленности.

МЕТОДЫ

Информационную базу научного исследования составили данные бухгалтерской (финансовой) отчетности строительных организаций г. Иркутска, а также материалы, представленные Иркутскстат³ по направлению «Строительство» и другими информационными сайтами^{4,5}.

Методологическую основу исследования составляют методы экономико-статистического анализа, системный метод, систематизация теоретического и практического материала.

Анализ и оптимизация средств на оплату труда в составе стоимости строительной продукции базируется на методологии определения стоимости строительной продукции на территории РФ, актуальной на период исследования.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Действующая до 2021 г. модель социального уровня потребления и порядок определения уровня бедности населения унаследован от СССР и представляла собой первую модель – «абсолютную» [2]. В соответствии с ней бедными считаются те, кто не имеет доходов для потребления минимальной корзины товаров и услуг. В большинстве стран ЕС и ОЭСР применяется «относительный» подход, по которому граница бедности определяется относительно принятого в обществе «стандартного», обычного потребления.

¹О прожиточном минимуме в Российской Федерации (с изм. и доп.): федер. закон от 24 октября 1997 г. N 134-ФЗ // Гарант [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/172780/> (13.11.2022).

²О потребительской корзине в целом по Российской Федерации: федер. закон от 3 декабря 2012 г. N 227-ФЗ (последняя редакция) // Гарант [Электронный ресурс]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70171718/> (13.11.2022).

³Строительство // Иркутскстат. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Иркутской области [Электронный ресурс]. URL: <https://irkutskstat.gks.ru/folder/161072/document/196975> (13.11.2022).

⁴Медианная заработная плата // SberIndex [Электронный ресурс]. URL: <https://sberindex.ru/ru/dashboards/median-wages> (13.11.2022).

⁵Статистика зарплат в России за 2022 г. // ГородРабот.ру [Электронный ресурс]. URL: <https://gorodrabot.ru/salary> (13.11.2022).

Величина минимального прожиточного уровня напрямую связана с методикой определения средств на оплату труда в строительстве [3–6]. Планирование заработной платы в соответствии с Методикой определения стоимости строительства, утвержденной приказом Министерства строительства и ЖКХ РФ от 4 августа 2020 г. № 421/пр⁶, основывается на показателе стоимости человеко-часа по каждой разрядности. Стоимость часа, в свою очередь, определяется на основании минимального прожиточного уровня.

Проведенный нами анализ средств, планируемых на оплату труда в составе сметной документации и величины заработной платы, оговоренной «Федеральным отраслевым соглашением по строительству и промышленности строительных материалов РФ», заключенным на 2020–2023 гг.⁷ [7], показывает занижение планируемой заработной платы (рис. 1).

Как видно из рис. 1, в первом квартале 2015 г. стоимость, представленная в сборнике «Индексы цен в строительстве» (Иркутская

область), занижена по отношению к Отраслевому тарифному соглашению, чего не наблюдалось за рассматриваемый период. Такое отрицательное отклонение наблюдается до 2 кв. 2019 г., т. е. на протяжении 4 лет. Максимальное отклонение достигало 20,5% в 2 кв. 2016 г. В период с 3 кв. 2019 г. до 1 кв. 2020 г. значение расчетного и принятого показателя стоимости человеко-часа практически сравнялось и, начиная с 4 кв. 2019 г., мы видим превышение принятого показателя стоимости человеко-часа над расчетным. Именно в это время происходит коррекция принципа установления прожиточного минимума и минимального размера оплаты труда. Правительство России с 2021 г. отказывается от расчета прожиточного минимума как статистической стоимости корзины потребления и предлагает определить его как часть (44,2%) среднедушевого дохода. МРОТ же до 2026 г. Минтруд предлагает установить на уровне 42% медианной зарплаты.

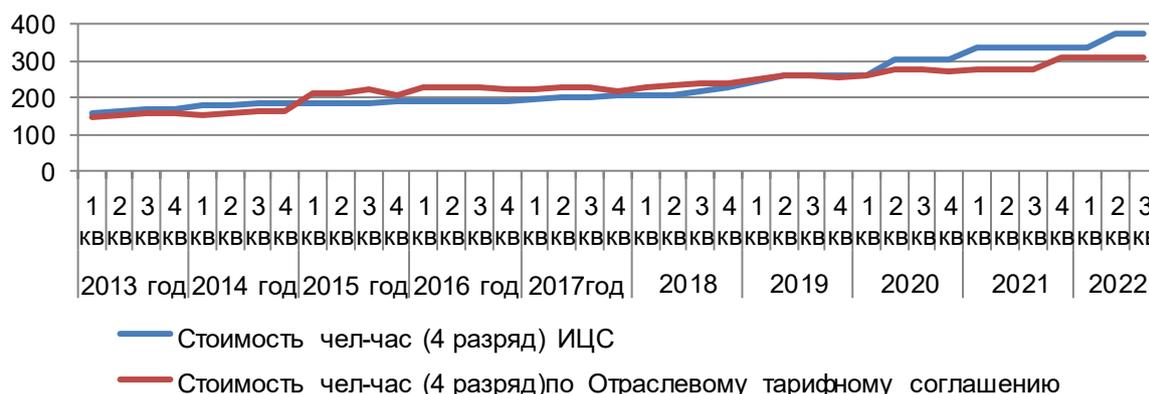


Рис. 1. Сравнительное изменение стоимости человеко-часа по отраслевому тарифному соглашению и фактической величины, представленной в Информационном бюллетене (Иркутская область)

Fig. 1. Comparative change in the cost of a person-hour according to the industry tariff agreement and the actual value presented in the Newsletter (Irkutsk region)

В настоящее время Росстат приступил к экспериментальным расчетам медианной заработной платы, от показателя которой с 2021 г. зависит минимальный прожиточный

уровень [8–10]. До сих пор Росстат производил эти расчеты только раз в два года (обычно в апреле нечетных годов) и только по выборке из работников крупных и средних

⁶Об утверждении Методики определения сметной стоимости строительства, реконструкции капитального ремонта, сноса объектов капитального строительства, работ по сохранению объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации на территории Российской Федерации: приказ Минстроя России от 4 августа 2020 г. № 421/пр // Кодекс.ру [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/565649004> (13.11.2022).

⁷Отраслевое соглашение по строительству и промышленности строительных материалов Российской Федерации на 2020–2023 гг. (утв. Минстроем России, Профессиональным союзом работников строительства и промышленности строительных материалов РФ, Общероссийским межотраслевым объединением работодателей «Российский Союз строителей» 01.12.2020) (ред. от 21.12.2021) // Кодекс [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573595612> (13.11.2022).

предприятий. Последний такой расчет произведен по данным на июль 2021 г. и составил 32 442 руб., что оказалось на 6,4% выше показателя 2019 г. (30 458 руб.). Для расчета Росстат берет официальные данные о зарплате всех категорий работников – от низкооплачиваемого персонала до руководства с высокими окладами. При таком подходе средний заработок является необъективным показателем, так как искусственно завышается за счет больших зарплат руководителей. Кроме того, производить расчеты медианной заработной платы в настоящее время возможно только по данным о страховых взносах в Пенсионный фонд, размер которых напрямую зависит от реально выплаченной заработной платы, то есть является не корректным [11, 12]. Минимальный прожиточный уровень должен сегодня рассчитываться, как 44,2% от медианной заработной платы региона, умноженной на 1,09 для работающего населения. Для применения корректного показателя минимального прожиточного уровня законодательно принято ре-

шение производить расчет медианной заработной платы ежеквартально. Однако на сайте Росстата (Иркутская область) не выставлено никаких данных о медианной зарплате, а данные других сайтов разнятся. Так, на сайте СберИндекс⁴ представлены следующие показатели медианной заработной платы по Иркутской области для всех отраслей (таблица). При сопоставлении полученных расчетных данных с установленным минимальным прожиточным уровнем на основе Постановлений Правительства Иркутской области № 69-пп от 09.02.2021 и № 629-пп от 03.09.2021⁸, наблюдается занижение установленного уровня в среднем на 26% – с минимального (18,9%) до максимального (38,9%) (рис. 2). Представленные на сайте ГородРабот.ру⁵ данные по медианной заработной плате в Иркутской области дают совершенно другую картину (рис. 3). Здесь мы видим занижение расчетной величины МПУ по отношению к установленной в первой половине 2022 г. в среднем на 1,15% и превышение во второй половине 2022 г. в среднем на 8,4%.

Таблица 1. Минимальный прожиточный уровень по Иркутской области на основе медианной заработной платы по данным *SberIndex*³

Table 1. Minimum subsistence level in the Irkutsk region based on median wages according to *SberIndex*³

Дата расчета	Медианная заработная плата по Иркутской области по всем отраслям, руб.	Минимальный прожиточный уровень по Иркутской области (расчетная величина), руб.
Сентябрь 2021 г.	35 957	17 323
Октябрь 2021 г.	35 444	17 076
Ноябрь 2021 г.	36 644	17 654
Декабрь 2021 г.	42 801	20 621
Январь 2022 г.	37 429	18 033
Февраль 2022 г.	36 416	17 545
Март 2022 г.	39 017	18 798
Апрель 2022 г.	37 739	18 182
Май 2022 г.	41 230	19 864
Июнь 2022 г.	43 630	21 020
Июль 2022 г.	41 603	20 043
Август 2022 г.	40 140	19 339
Сентябрь 2022 г.	40 521	19 522
Октябрь 2022 г.	41 177	19 838
Ноябрь 2022 г.	41 937	20 204
Декабрь 2022 г.	49 627	23 909

⁸Об установлении величины прожиточного минимума в Иркутской области на 2021 г.: постановление Правительства Иркутской области от 09 февраля 2021 г. № 69-ПП // Гарант.ру [Электронный ресурс]. URL: <https://www.garant.ru/hotlaw/irkutsk/1447989/> (13.11.2022);

Об установлении величины прожиточного минимума в Иркутской области на 2022 г.: постановление Правительства Иркутской области от 3 сентября 2021 Г. № 629-ПП // Гарант.ру [Электронный ресурс]. URL: <https://www.garant.ru/hotlaw/irkutsk/1484243/> (13.11.2022).

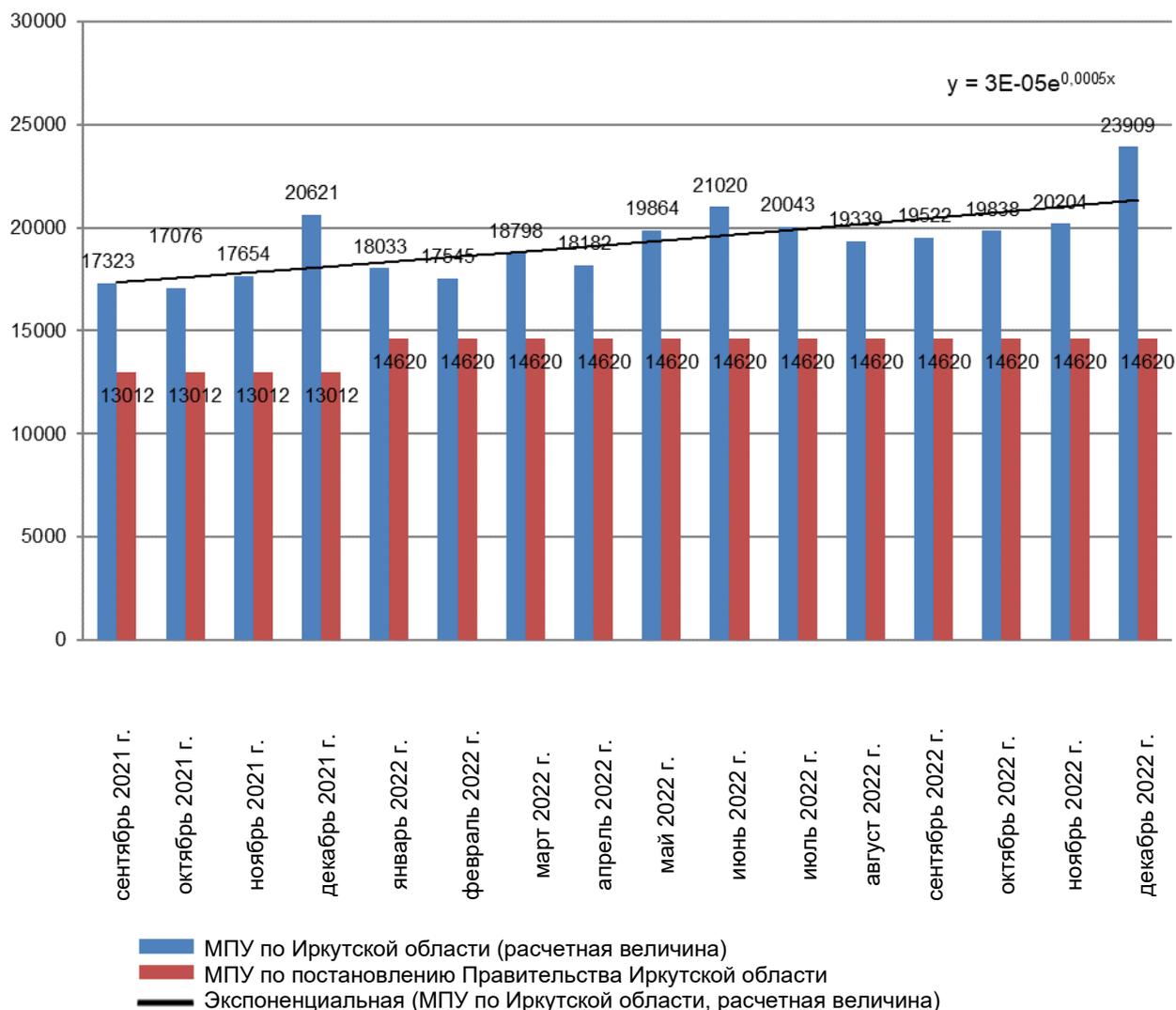


Рис. 2. Сопоставление расчетной и установленной величины МПУ по Иркутской области на основании данных *SberIndex*³
Fig. 2. Comparison of the calculated and established values of the MPU in the Irkutsk region based on the data of *SberIndex*³

Полученные данные по отклонениям расчетной и фактической величины Минимального прожиточного уровня по Иркутской области говорят о необходимости открытой публикации данных о медианной зарплате и расчета установленного прожиточного уровня в регионе. Также необходимо обосновать процент (44,2% от медианной зарплаты), принятый для расчета прожиточного уровня.

Также вызывает недоумение заявление о законодательном изменении порядка расчета минимального размера оплаты труда (МРОТ) на 2023 и 2024 гг. [13, 14]. Начиная с 2023 г., МРОТ будет повышаться в ускоренном порядке – увеличение будет зависеть от темпов роста величины прожиточного минимума трудоспособного населения в целом по РФ и превысит их на три процентных пункта. При этом

в соответствии с поправками, при расчете МРОТ не будет использоваться показатель – величина медианной заработной платы. Невозможно назначить МРОТ на три процентных пункта выше МПУ без использования медианной зарплаты, потому как МПУ считается в % от нее. Необходимо углубленно проанализировать Методику расчета Минимального прожиточного уровня, так как она напрямую влияет на величину оплаты труда в строительстве. В связи с тем, что медианная зарплата сегодня устанавливается на год, сметная стоимость часа работы рабочих-строителей в течение года остается неизменной, и при переходе на ресурсный метод определения сметной стоимости в строительстве соответственно будет занижена. Сегодня, при определении сметной стоимости различными методами

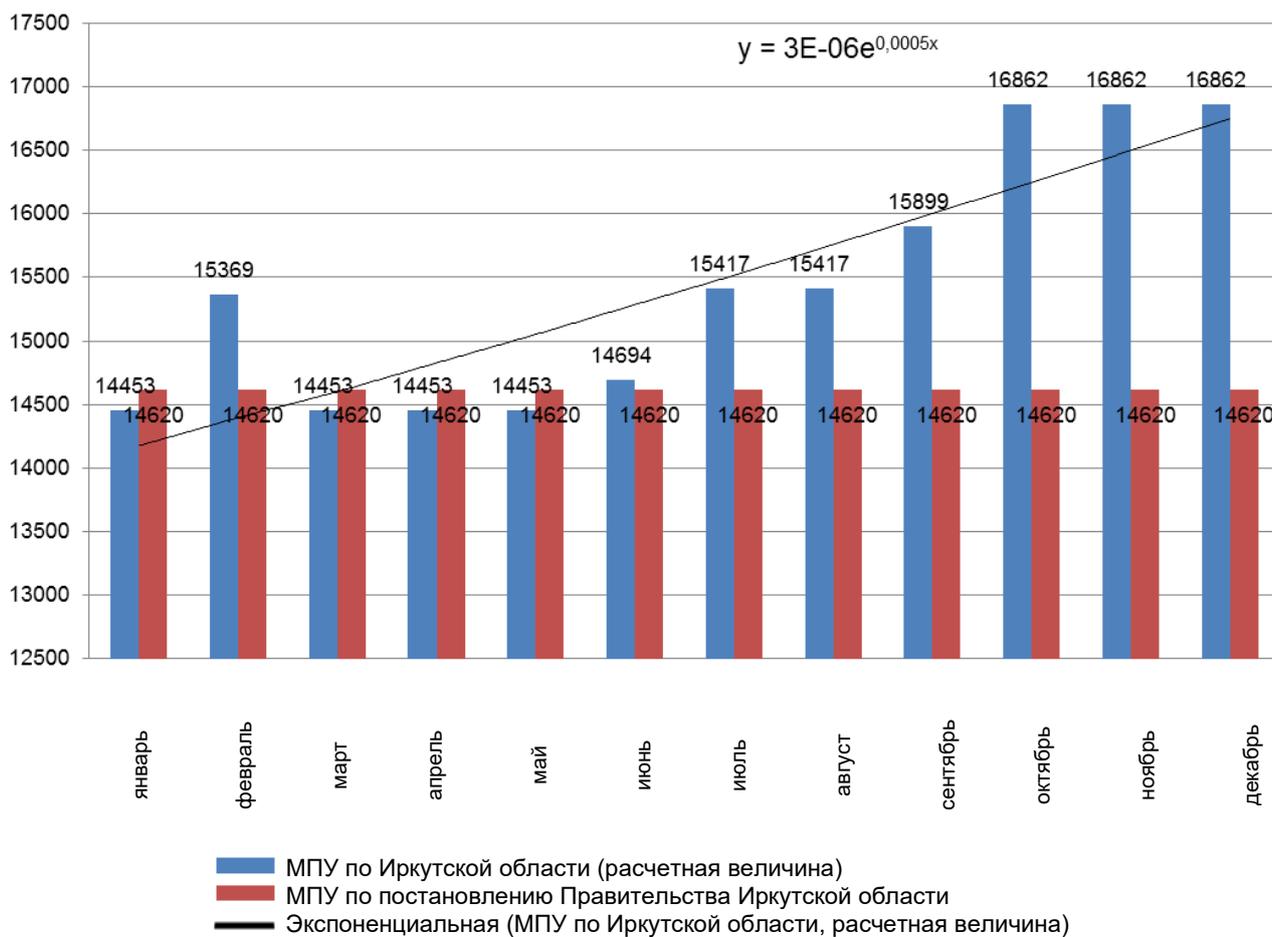


Рис. 3. Сопоставление расчетной и установленной величины МПУ по Иркутской области на основании данных ГородРабот.ру⁵

Fig. 3. Comparison of the calculated and established values of the MPU in the Irkutsk region based on data from GorodRabot.ru⁵

(ресурсным и базисно-индексным), мы видим значительное отклонение по заработной плате в методах, а это значит, что меняются и накладные расходы, и сметная прибыль в составе сметной стоимости. Анализ изменения показателя средней стоимости человеко-часа (для среднего 4 разряда) и роста коэффициента, применяемого к базисному показателю заработной платы представлен на рис. 4. На графике видно, что стоимость человеко-часа была неизменной весь 2021 г. и первый квартал 2022 г., а это значит, что при расчете сметной стоимости ресурсным методом размер средств на оплату труда в смете оставался постоянным. В то время как индекс по заработной плате, применяемый для расчета сметной стоимости базисно-индексным методом, за этот же промежуток времени увеличился на 5%, следовательно, увеличилась и заработная плата. На протяжении 2–4 квартала 2022 г. стоимость человеко-часа, увеличенная на 10,4% по отношению к предыдущему перио-

ду, также оставалась постоянной. Тогда как коэффициент по заработной плате к 3 кварталу 2022 г. увеличился на 21%, а к 4 кварталу 2022 г. – на 24%. Следовательно, для устранения этого отклонения необходимо производить расчет медианной заработной платы, как базы для определения минимального прожиточного уровня, ежеквартально. При переходе на новую методику определения МПУ на базе медианной зарплаты мы имели возможность сопоставления полученного результата со стоимостью минимальной потребительской корзины, что давало возможность анализировать результат перехода на новую методику расчета (рис. 5).

Как видно из графика, при подготовке новой методики расчета МПУ (в 2020 г.) медианная зарплата по России и Иркутской области предвещала высокий показатель прожиточного уровня. Однако в 2021 г., в момент изменения методики расчета, величина МПУ не изменилась, независимо от метода расчета.

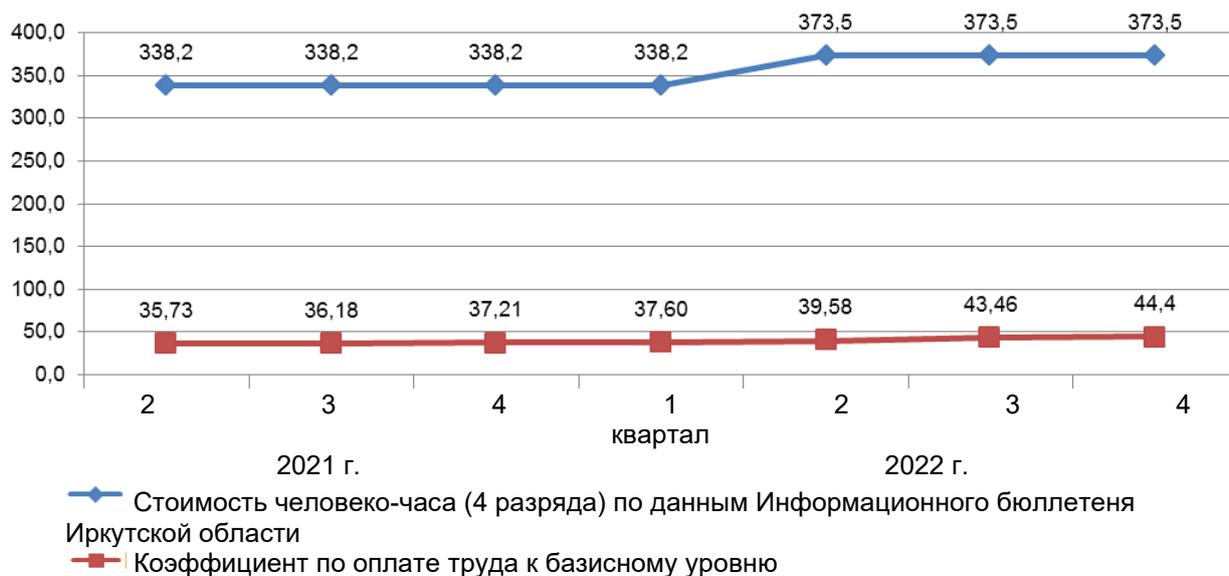


Рис. 4. Изменение показателей средней стоимости человеко-часа (для среднего 4 разряда) и роста коэффициента, применяемого к базисному показателю заработной платы

Fig. 4. Changes in the indicators of the average cost of a person-hour (for the average of the 4th category) and the growth of the coefficient applied to the basic indicator of wages

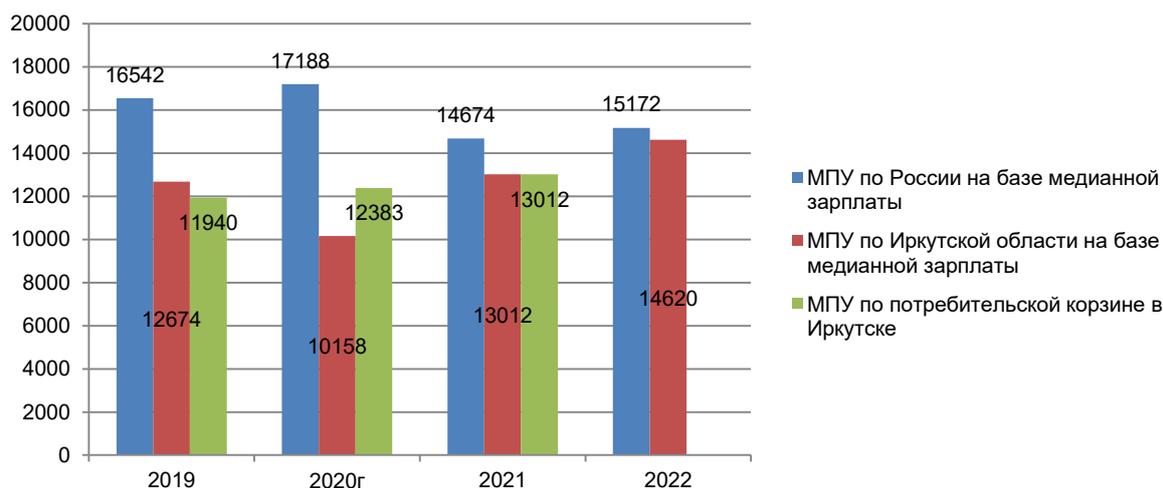


Рис. 5. Анализ изменения минимального прожиточного уровня, просчитанного по старой и новой методике

Fig. 5. Analysis of changes in the minimum subsistence level calculated according to the old and new methods

В 2022 г. величина МПУ незначительно увеличилась (около 11%), но сопоставить ее с потребительской корзиной уже не представляет возможности. По нашему мнению, расчет потребительской корзины необходим, для определения контрольной минимальной величины прожиточного уровня, но для такого расчета необходима корректировка состава потребительской корзины.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследования можно сделать вывод, что изменение методики расчета МПУ в 2021 году не принесло ожидаемых ре-

зультатов. Методика требует доработки, Необходимо размещать на сайте Росстата официальные показатели медианной зарплаты по регионам, расчет которой должен происходить, как минимум, раз в квартал. В Методике необходимо обосновать показатель процента (44,2%) принятый для расчета МПУ от медианной зарплаты. Установить минимальный предел размера МПУ в регионе в размере стоимости потребительской корзины. Для точности расчета стоимости потребительской корзины предусмотреть ее корректировку по составу всех ее разделов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Иванова М.М. Заработная плата в строительной отрасли в 2019 году // Нормирование и оплата труда в строительстве. 2019. № 10. С. 36–41.
2. Ильин А.Е., Сапрыкин А.В. Методические аспекты регулирования минимальной заработной платы // Экономика труда. 2017. Т. 4. № 4. С. 455–462. <https://doi.org/10.18334/et.4.4.38402>.
3. Lisetskij I.A., Yamschikova I.V. Analysis of costs for land development in price of construction products. *Research Paradigms Transformation in Social Sciences: Proceedings of the International Conference – RPTSS-2018* (Irkutsk, 26–28 April 2018). Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University, 2018. Vol. 50. P. 1394–1401. <https://doi.org/10.15405/epsbs.2018.12.170>.
4. Yamshchikova I. V., Naumov Ye. I. Optimization of the innovative design products' cost // *Investment, Construction, Real Estate: New Technologies and Special-Purpose Development Priorities: International Scientific Conference. ICRE–2018 MATEC Web of Conferences* (Irkutsk, 15 October 2018). Irkutsk: Irkutsk National Research Technological University. 2018. Vol. 212. P. 08005. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201821208005>.
5. Антонян О.Н., Соловьева А.С., Стрельникова К.А. Система оплаты труда в строительстве в условиях нестабильной экономики // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. 2017. № 12 (59). С. 7–10.
6. Осипов П.П. Расчет размера средней заработной платы рабочих, занятых в строительстве по основным видам строительно-монтажных работ на основании размеров фонда оплаты труда в составе сметной стоимости // Новые идеи нового века: материалы Междунар. науч. конф. факультета архитектуры и дизайна Тихоокеанского государственного университета. 2020. Т. 3. С. 459–464.
7. Волкова А.А. Оплата труда в строительной отрасли // Нормирование и оплата труда в строительстве. 2019. № 10. С. 47–48.
8. Воропаева Д.А. Анализ новой методики расчета показателей благосостояния населения в России // Инновационный потенциал развития общества: взгляд молодых ученых: материалы 2-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок (г. Курск, 1 декабря 2021 г.). Курск: Юго-Западный государственный университет, 2021. С. 65–67.
9. Гаджиева М.А. Система учета оплаты труда в соответствии с МРОТ. Экономика и предпринимательство. 2022. № 7 (144). С. 1242–1245.
10. Егорова А.А. Социально-экономическая сущность МРОТ в современной России // Глобальные и локальные тренды в управлении, экономике, юриспруденции: материалы XIX Междунар. науч.-практ. конф. (г. Липецк, 27 апреля 2022 г.). Воронеж: Наука-Юнипресс, 2022. С. 203–207.
11. Volovskaya N.M., Pliusnina L.K., Rusina A.V. Shadow Wages: Specific Features, Involvement Rates, Motivation (based on data obtained in the Novosibirsk Region in 2008, 2010 and 2015) // *Siberian Socium*. 2017. Vol. 1. No. 1. P. 18–26. <https://doi.org/10.21684/2587-8484-2017-1-1-18-26>.
12. Огарь Д.С. Особенности оплаты труда в строительной отрасли // Информационные технологии, энергетика и экономика: сб. трудов XVI Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов (г. Смоленск, 25–26 апреля 2019 г.). Смоленск: Универсум, 2019. С. 121–124.
13. Хонин И.Л. Анализ изменения методики расчета прожиточного минимума и МРОТ // Закономерности развития региональных агропродовольственных систем: материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. 2021. № 1. С. 65–68.
14. Сагандыков М.С. Практика применения законодательства о минимальном размере оплаты труда // Сметно-договорная работа в строительстве. 2021. № 1. С. 33–42.

REFERENCES

1. Ivanova M.M. Salaries in the construction industry in 2019. *Normirovanie i oplata truda v stroitel'stve*. 2019;10:36-41. (In Russ.).
2. Ilyin A.E., Saprykin A.V. Methodical aspects of minimum wage regulation. *Ekonomika truda = Russian journal of labor economics*. 2017;4(4):455-462. (In Russ.). <https://doi.org/10.18334/et.4.4.38402>.
3. Lisetskij I.A., Yamschikova I.V. Analysis of costs for land development in price of construction products. *Research Paradigms Transformation in Social Sciences: Proceedings of the International Conference – RPTSS-2018*. 26-28 April 2018, Irkutsk. Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University, 2018. Vol. 50. P. 1394–1401. <https://doi.org/10.15405/epsbs.2018.12.170>.
4. Yamshchikova I.V., Naumov Ye.I. Optimization of the innovative design products' cost. *Investment, Construction, Real Estate: New Technologies and Special-Purpose Development Priorities: International Scientific Conference. ICRE–2018. MATEC Web of Conferences*. 15 October 2018, Irkutsk. Irkutsk: Irkutsk National Research Technological University. 2018. Vol. 212. P. 08005. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201821208005>.
5. Antonyan O.N., Solovyova A.S., Strelnikova K.A. The system of remuneration in construction in an unstable economy. *Konkurentosposobnost' v glob-*

al'nom mire: ekonomika, nauka, tekhnologii = Competitiveness in the global world: economics, science, technology. 2017;12:7-10. (In Russ.).

6. Osipov P.P. Calculation of the workers' average wages size in construction by the basic types of construction and mounting works on the basis of the payment fund size for the estimated cost composition. *Novye idei novogo veka: materialy Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii fakul'teta arkhitektury i dizaina Tikhookeanskogo gosudarstvennogo universiteta = New ideas of the New Century: Materials of the International Scientific Conference of the Faculty of Architecture and Design of Pacific State University.* 2020;3:459-464. (In Russ.).

7. Volkova A.A. Remuneration in the construction industry. *Normirovanie i oplata truda v stroitel'stve.* 2019;10:47-48. (In Russ.).

8. Voropaeva D.A. Analysis of a new methodology for calculating indicators of the welfare of the population in Russia. *Innovatsionnyi potentsial razvitiya obshchestva: vzglyad molodykh uchenykh: materialy 2-i Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii perspektivnykh razrabotok = Innovative potential of society development: the view of young scientists: materials of the All-Russian Scientific Conference of Promising developments.* 1 December 2021, Kursk. Kursk: Southwest State University, 2021. p. 65-67.

9. Gadzhieva M.A. The system of accounting for wages in accordance with the minimum wage. *Ekonomika i predprinimatel'stvo = Economics and entrepreneurship.* 2022. № 7 (144). С. 1242-1245. (In Russ.). <https://doi.org/10.34925/EIP.2022.144.7.250>.

10. Egorova A.A. Socio-economic essence of the minimum wage in modern Russia. *Global'nye i loka-*

l'nye trendy v upravlenii, ekonomike, yurisprudentsii: materialy XIX Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Global and local trends in management, economics, law. Materials of the XIX International Scientific and Practical Conference. 27 April 2022, Lipetsk. Voronezh; 2022. p. 203-207. (In Russ.).

11. Volovskaya N.M., Pliusnina L.K., Rusina A.V. Shadow Wages: Specific Features, Involvement Rates, Motivation (based on data obtained in the Novosibirsk Region in 2008, 2010 and 2015). *Siberian Socium.* 2017;1(1):18-26. <https://doi.org/10.21684/2587-8484-2017-1-1-18-26>.

12. Ogar D.S. Features of remuneration in the construction industry. *Informatsionnye tekhnologii, energetika i ekonomika: sbopnik trudov XVI Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii studentov i aspirantov = Information technology, energy and economics: Proceedings of the XVI International Scientific and Technical Conference of Students and postgraduates.* 25-26 April, 2019. Smolensk: Universum; 2019. p. 121-124. (In Russ.).

13. Khonin I.L. Analysis of changes in the methodology for calculating the subsistence minimum and minimum wage. *Zakonomernosti razvitiya regional'nykh agropodovol'stvennykh sistem: materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh uchenykh = Patterns of development of regional agro-food systems: materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference of Young Scientists.* 2021. No. 1. p. 65-68. (In Russ.).

14. Sagandykov M.S. The practice of applying legislation on the minimum wage. *Smetno-dogovornaya rabota v stroitel'stve.* 2021;1:33-42. (In Russ.).

Информация об авторе

Ямщикова Ирина Валентиновна,

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

Вклад автора

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

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Information about the author

Irina V. Yamshchikova,

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

Contribution of the author

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

Conflict of interests

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

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

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 11.01.2023.
Одобрена после рецензирования 25.01.2023.
Принята к публикации 26.01.2023.

Information about the article

The article was submitted 11.01.2023.
Approved after reviewing 25.01.2023.
Accepted for publication 26.01.2023.



Теплопроводность автоклавного газобетона при разных температурно-влажностных состояниях

А.А. Баранова^{1✉}, М.И. Рябков², А.С. Скулин³

^{1,2,3}Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск, Россия

Аннотация. Цель работы заключается в измерении коэффициентов теплопроводности автоклавных газобетонов марок по средней плотности (D450, D500 и D600) в сухом, водонасыщенном и мерзлом состоянии. Коэффициенты теплопроводности определялись на кубках с размером ребра 100 мм в соответствии со стандартной методикой при помощи прибора ИТП-МГ «Зонд». В процессе работы установлено, что теплопроводность сухих образцов исследуемых марок газобетонов примерно в 3,3–4 раза ниже, чем у образцов в водонасыщенном состоянии и в 3,5–4,2 раза ниже, чем у замороженных в водонасыщенном состоянии образцов. Снижение средней плотности автоклавного газобетона с 618 кг/м³ до 434 кг/м³ способствует уменьшению коэффициента теплопроводности на 24,4%. Разница в значениях коэффициентов теплопроводности водонасыщенных образцов и их же в замороженном состоянии составляет 3,5–21,1% для исследуемых марок автоклавных газобетонов. Расхождения между значениями коэффициентов теплопроводности, полученными расчетным и опытным путем, составляют: 7,6–36,5% – для сухих образцов, 32,6–61,7% – для водонасыщенных образцов и 38,6–88,6% – для замороженных в водонасыщенном состоянии образцов. По результатам исследований для автоклавных газобетонов марок по средней плотности D450, D500 и D600 были получены математические зависимости коэффициентов теплопроводности от их средней плотности и температурно-влажностного состояния.

Ключевые слова: теплопроводность, автоклавный газобетон, водонасыщенное состояние, мерзлое состояние

Для цитирования: Баранова А.А., Рябков М.И., Скулин А.С. Теплопроводность автоклавного газобетона при разных температурно-влажностных состояниях // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 1. С. 20–27. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-1-20-27>.

Original article

Thermal conductivity of autoclaved aerated concrete under different temperature and humidity conditions

Albina A. Baranova^{1✉}, Maksim I. Ryabkov², Alexander S. Skulin³

^{1,2,3}Angarsk State Technical University, Angarsk, Russia

Abstract. The paper is aimed at measuring the thermal conductivity coefficients of autoclaved aerated concrete of average density (D450, D500 and D600) in a dry, water-saturated and frozen state. Thermal conductivity coefficients were determined using 100-mm cubes using standard methodology and measuring instrument ITP-MG “Zond” (Russia). It was found that the thermal conductivity of samples of the studied aerated concrete grades in the dry state is approximately 3.3–4 times lower than the thermal conductivity of samples in the water-saturated state and 3.5–4.2 times lower as compared to frozen water-saturated samples. The decrease in the average density of autoclaved aerated concrete from 618 kg/m³ to 434 kg/m³ led to a decrease in the thermal conductivity coefficient by 24.4%. The difference in the values of thermal conductivity coefficients of water-saturated samples and frozen water-saturated samples comprises 3.5–21.1% for the studied grades of autoclaved aerated concrete. Discrepancies between the values of thermal conductivity coefficients obtained by calculation and by experiment equal 7.6–36.5% for dry samples, 32.6–61.7% for water-saturated samples, and 38.6–88.6%

for frozen water-saturated samples. Following the results of research into autoclaved aerated concrete grades of average density D450, D500 and D600, mathematical relations of thermal conductivity coefficients on their average density and temperature and humidity state were obtained.

Keywords: thermal conductivity, autoclaved aerated concrete, water-saturated condition, frozen condition

For citation: Baranova A.A., Ryabkov M.I., Skulin A.S. Thermal conductivity of autoclaved aerated concrete under different temperature and humidity conditions. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2023;13(1):20-27. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-1-20-27>.

ВВЕДЕНИЕ

В зимний период времени, особенно в районах с суровыми климатическими условиями, эксплуатационные характеристики некоторых строительных материалов и изделий могут существенно изменяться. В большей степени это касается высокопористых материалов, таких как ячеистые бетоны, к которым относятся и автоклавный газобетон. В строительстве ячеистые бетоны чаще всего применяются для изготовления ограждающих конструкций и различных теплоизоляционных изделий, в период эксплуатации испытывающие постоянное воздействие множества неблагоприятных факторов, среди которых влажность (грунтовые и атмосферные воды, а иногда и затопление территорий) и перепады температуры. Основной эксплуатационной характеристикой для таких материалов является теплопроводность. Из многочисленных исследований, посвященных изучению теплопроводности ячеистых бетонов [1–13], известно, что на их теплоизоляционные свойства значительное влияние оказывает соотношение объемов воздуха, присутствующего в порах, и твердого вещества, содержащегося в материале. Чем меньше толщина межпоровых перегородок, и чем большее количество воздуха содержится в объеме материала, тем лучше его теплозащитные свойства и ниже коэффициент теплопроводности (λ). Наличие воды в порах ячеистых бетонов ухудшает их теплофизические характеристики, поскольку у воды $\lambda = 0,569$ Вт/(м·°С), а у воздуха $\lambda = 0,023$ Вт/(м·°С), т.е. почти в 25 раз меньше. Под действием отрицательных температур вода переходит в твердое состояние, т.е. превращается в лед, у которого $\lambda = 2,44$ Вт/(м·°С) при температуре -20 °С, что более чем в 100 раз превышает коэффициент теплопроводности воздуха [14, 15]. При продолжении исследований [16, 17] целью работы являлось определение коэффициентов теплопроводности автоклавных газобетонов марок по средней плотности (D450, D500 и D600) в сухом, водонасыщенном и мерзлом

состояниях и получение математических зависимостей изменения коэффициентов теплопроводности от средней плотности газобетонов и их температурно-влажностного состояния.

МЕТОДЫ

Исследования проводились на образцах-кубах с размером ребра 100 мм, выпиленных из блоков автоклавного газобетона марок по средней плотности – D450, D500 и D600.

Серии образцов разной плотности высушивались до постоянной массы, после чего прибором ИТП-МГ «Зонд» определялись их коэффициенты теплопроводности по ГОСТ 30256-94 «Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности цилиндрическим зондом». Измерения λ проводились трижды для каждого образца с интервалом в 30 мин.

Затем высушенные образцы-кубы погружались в емкость с водой и устанавливались на прокладки таким образом, чтобы обеспечить доступ воды к их нижним граням. Уровень воды над верхними гранями образцов составлял не менее 5 см. Температура воды в емкости была в пределах 20 – 22 °С. Период водонасыщения составлял 7 сут., после чего у водонасыщенных образцов определялись коэффициенты теплопроводности. Далее водонасыщенные образцы были помещены в морозильную камеру, где они хранились в течение 7 сут. при температуре -18 °С. Впоследствии у мерзлых образцов измерялись коэффициенты теплопроводности по стандартной методике.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты работы представлены в табл. 1 и на рис. 1–3. Снижение средней плотности автоклавного газобетона с 618 кг/м³ до 434 кг/м³ способствует уменьшению коэффициента теплопроводности на 24,4% (табл. 1). Теплопроводность сухих образцов, изготовленных из газобетона марки D450, в 3,5 раза меньше, чем у водонасыщенных и в 4,2 раза ниже, чем у замороженных в водонасыщенном состоянии образцов.

Таблица 1. Теплофизические характеристики автоклавных газобетонов в зависимости от их марки и температурно-влажностного состояния

Table 1. Thermophysical characteristics of autoclaved aerated concretes depending on their grade and temperature-humidity condition

Характеристика	Марка газобетона		
	D450	D500	D600
Средняя плотность образцов в сухом состоянии, $\rho_{\text{сух.}}$, кг/м ³	434	478	618
Коэффициент теплопроводности образцов в сухом состоянии, $\lambda_{\text{сух.}}$, Вт/(м·°С)	0,118	0,124	0,156
Средняя плотность образцов в водонасыщенном состоянии, $\rho_{\text{вл.}}$, кг/м ³	727	806	972
Влажность, W, %	67,34	68,66	57,41
Коэффициент теплопроводности образцов в водонасыщенном состоянии, $\lambda_{\text{вл.}}$, Вт/(м·°С)	0,408	0,498	0,521
Средняя плотность водонасыщенных образцов в мерзлом состоянии, $\rho_{\text{мерз.}}$, кг/м ³	715	797	963
Коэффициент теплопроводности водонасыщенных образцов в мерзлом состоянии, $\lambda_{\text{мерз.}}$, Вт/(м·°С)	0,494	0,521	0,539

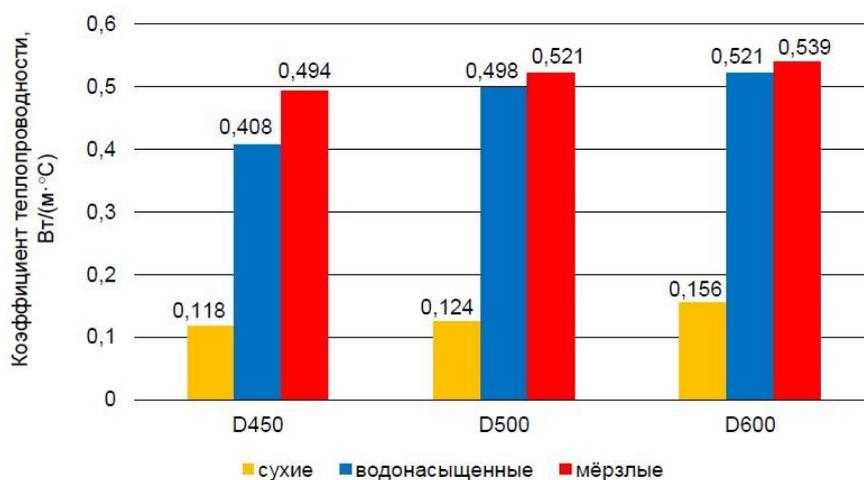


Рис. 1. Коэффициенты теплопроводности образцов автоклавных газобетонов в зависимости от их марки и температурно-влажностного состояния

Fig. 1. Thermal conductivity coefficients of autoclaved aerated concrete samples depending on their grade and temperature-humidity condition

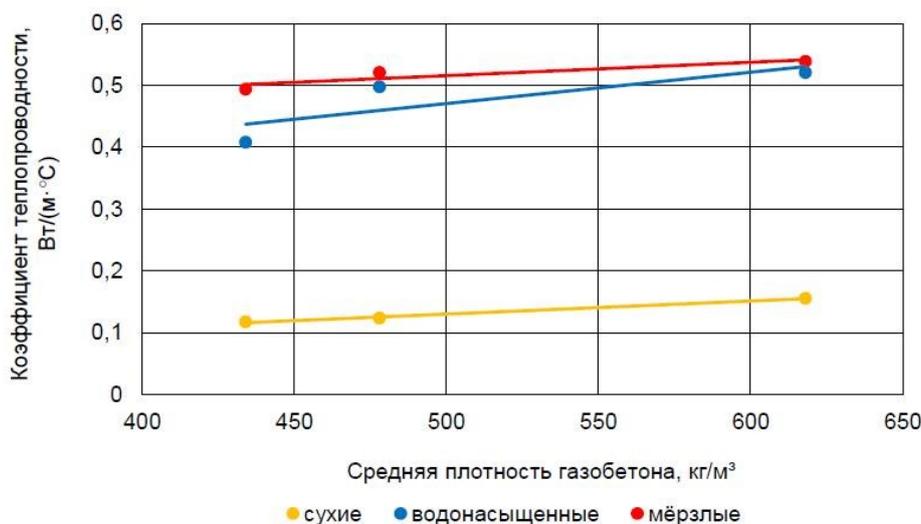


Рис. 2. Теплопроводность автоклавных газобетонов в сухом, водонасыщенном и мерзлом состоянии в зависимости от их средней плотности

Fig. 2. Thermal conductivity of autoclaved aerated concretes in dry, water-saturated and frozen conditions, depending on their average density

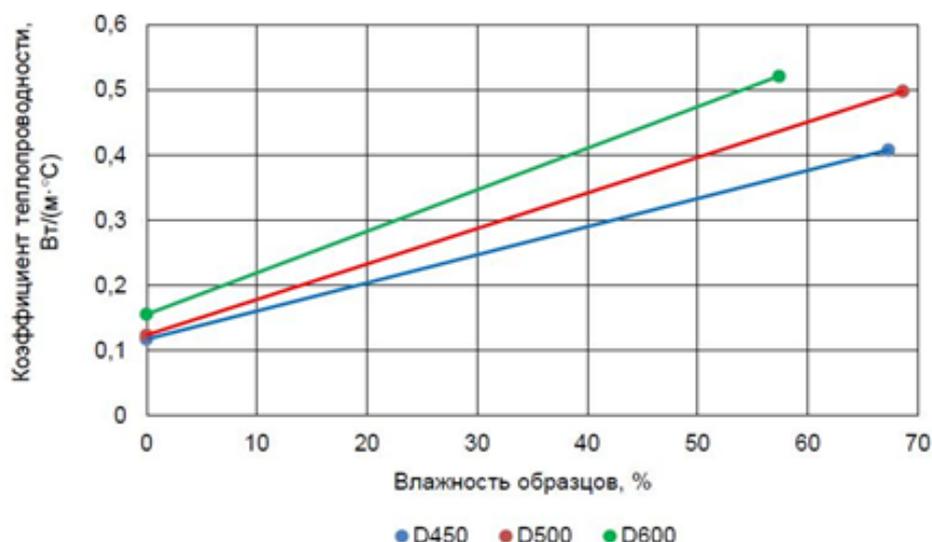


Рис. 3. Теплопроводность автоклавных газобетонов в зависимости от их влажности
Fig. 3. Thermal conductivity of autoclaved aerated concretes depending on their humidity

Теплопроводность сухих образцов, изготовленных из газобетона марки D500, в 4 раза меньше, чем у водонасыщенных и в 4,2 раза ниже, чем у замороженных в водонасыщенном состоянии образцов. Теплопроводность сухих образцов, изготовленных из газобетона марки D600, в 3,3 раза меньше, чем у водонасыщенных и в 3,5 раза ниже, чем у замороженных в водонасыщенном состоянии образцов. По диаграммам, представленным на рис. 1, четко видно, как изменяются коэффициенты теплопроводности газобетонов исследуемых марок в зависимости от их температурно-влажностного состояния. Разница в значениях коэффициентов теплопроводности водонасыщенных образцов и их же в замороженном состоянии составляет для автоклавного газобетона марки D450 21,1%, для марки D500 – 4,6%, для марки D600 – 3,5%.

По графикам, представленным на рис. 2, установлено, что изменение коэффициентов теплопроводности (λ , Вт/(м·°С)) автоклавных газобетонов в зависимости от их средней плотности для исследуемых температурно-влажностных состояний носит линейный характер и описывается следующими уравнениями:

– для сухих образцов:

$$\lambda = 0,0002 \cdot \rho_m + 0,0246; \quad (1)$$

– для водонасыщенных образцов:

$$\lambda = 0,0005 \cdot \rho_m + 0,2181; \quad (2)$$

– для замороженных в водонасыщенном состоянии образцов:

$$\lambda = 0,0002 \cdot \rho_m + 0,4076, \quad (3)$$

где ρ_m – средняя плотность автоклавного газобетона, кг/м³.

Изменение теплопроводности автоклавных газобетонов в зависимости от их влажности описывается следующими уравнениями:

– для марки D450:

$$\lambda = 0,0043 \cdot W + 0,118; \quad (4)$$

– для марки D500:

$$\lambda = 0,0054 \cdot W + 0,124; \quad (5)$$

– для марки D600:

$$\lambda = 0,0064 \cdot W + 0,156, \quad (6)$$

где W – влажность автоклавного газобетона, %.

Эмпирическая формула В.П. Некрасова, предложенная им для расчета коэффициентов теплопроводности, связывает теплопроводность материала с его относительной плотностью. Значения λ , рассчитанные по ней, приближительные и могут не соответствовать фактическим значениям, определенным с помощью специальных приборов. Значения коэффициентов теплопроводности автоклавных газобетонов, рассчитанные по данной формуле и установленные опытным путем с помощью прибора ИТП-МГ «Зонд», приведены в табл. 2.

Данные табл. 2 показывают, что для автоклавных газобетонов расхождения между расчетными и экспериментальными значениями коэффициентов теплопроводности составляют: для сухих образцов марки D450 – 7,6%, для марки D500 – 18,6%, для марки D600 – 36,5%; для водонасыщенных образцов марки D450 – 52,2%, для марки D500 – 61,7%, для марки D600 – 32,6%; для замороженных в водонасыщенном состоянии образцов марки D450 – 88,6%, для марки D500 – 72%, для марки D600 – 38,6%.

Таблица 2. Расчетные и экспериментальные значения коэффициентов теплопроводности автоклавных газобетонов в зависимости от их средней плотности и температурно-влажностного состояния

Table 2. Calculated and experimental values of thermal conductivity coefficients of autoclaved aerated concretes depending on their average density and temperature-humidity condition

Средняя плотность автоклавного газобетона, ρ_m , кг/м ³	Коэффициенты теплопроводности, λ , Вт/(м·°С)	
	расчетные	экспериментальные
в сухом состоянии		
434	0,127	0,118
478	0,147	0,124
618	0,213	0,156
в водонасыщенном состоянии		
727	0,268	0,408
806	0,308	0,498
972	0,393	0,521
в мерзлом состоянии		
715	0,262	0,494
797	0,303	0,521
963	0,389	0,539

Выводы

В ходе проведенных исследований сделаны следующие выводы:

– снижение средней плотности автоклавного газобетона с 618 кг/м³ до 434 кг/м³ способствует уменьшению коэффициента теплопроводности на 24,4%;

– коэффициенты теплопроводности сухих образцов исследованных марок газобетонов (D450, D500 и D600) примерно в 3,3–4 раза ниже, чем у образцов в водонасыщенном состоянии и в 3,5–4,2 раза ниже, чем у замороженных в водонасыщенном состоянии образцов;

– разница в значениях коэффициентов теплопроводности водонасыщенных образцов и их же в замороженном состоянии составля-

ет 3,5–21,1% для исследуемых марок автоклавных газобетонов;

– для автоклавного газобетона расхождения между расчетными и экспериментальными значениями коэффициентов теплопроводности составляют 7,6–36,5% для сухих образцов, 32,6–61,7% – для водонасыщенных и 38,6–88,6% – для замороженных в водонасыщенном состоянии образцов.

В процессе работы для автоклавных газобетонов марок по средней плотности D450, D500 и D600 опытным путем были получены математические зависимости коэффициентов теплопроводности от их средней плотности и температурно-влажностного состояния.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Вылегжанин В.П., Пинскер В.А., Петрова Т.М. Особенности пористой структуры ячеистых бетонов и ее влияние на теплопроводность // Строительные материалы. 2021. № 8. С. 67–71. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-794-8-67-71>.
 2. Корниенко С.В. Теплопроводность газобетонных стен при эксплуатационных условиях // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 3(80). С. 152–159.
 3. Горшков А.С., Пестряков И.И., Корниенко С.В., Ватин Н.И., Ольшевский В.Я. Фактические теплотехнические характеристики ячеистых бетонов автоклавного твердения // Строительство

уникальных зданий и сооружений. 2018. № 5 (68). С. 75–104. <https://doi.org/10.18720/CUBS.68.7>.
 4. Yafei S., Peiwei G., Fei G., Li H., Zhang L., Liu H. Thermal conductivity and mechanical properties of porous concrete materials // Materials Letters. 2017. Vol. 209. P. 349–352. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2017.08.046>.
 5. Othuman Mydin M.A. An experimental investigation on thermal conductivity of lightweight Foamcrete for thermal insulation // Jurnal Teknologi. 2013. Vol. 63. Iss. 1. P. 43–49. <https://doi.org/10.11113/jt.v63.1368>.
 6. Habsya Ch., Diharjo K., Setyono P., Satwiko P. Physical, mechanical and thermal properties of

lightweight foamed concrete with fly ash // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 420. P. 012062.
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/420/1/012062>.

7. Batool F., Rafi M.M., Bindiganavile V. Microstructure and thermal conductivity of cement-based foam A review // Journal of Building Engineering. 2018. Vol. 20. P. 696–704.
<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.09.008>.

8. Asadi I., Shafigh P., Abu Hassan Z.F.B., Mahyuddin N.B. Thermal conductivity of concrete – A review // Journal of Building Engineering. 2018. Vol. 20. P. 81–93.
<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.07.002>.

9. Liu S., Zhu K., Cui Sh., Shen X., Tan G. A novel building material with low thermal conductivity: Rapid synthesis of foam concrete reinforced silica aerogel and energy performance simulation // Energy and Buildings. 2018. Vol. 177. P. 385–393.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.08.014>.

10. Farnaz B., Prasad N.N.G., Bindiganavile V. Statistical modeling of thermal conductivity for cement-based foam // Journal of Building Engineering. 2018. Vol. 19. P. 449–458.
<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.05.022>.

11. Batool F., Bindiganavile V. Quantification of factors influencing the thermal conductivity of cement-based foam // Cement and Concrete Composites. 2018. P. 76–86.
<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.04.015>.

12. Крутилин А.Б., Рыхленок Ю.А., Лешкевич В.В. Теплофизические характеристики автоклавных ячеистых бетонов низких плотностей и их влияние на долговечность наружных стен зданий // Инженерно-строительный журнал. 2015. № 2 (54). С. 46–55.

<https://doi.org/10.5862/MCE.54.5>.

13. Гринфельд Г.И., Коркина Е.В., Пастушков П.П., Павленко П.П., Ерофеева И.В., Губанов Д.А. Исследования теплопроводности ячеистых бетонов // Актуальные вопросы архитектуры и строительства: материалы четырнадцатой Международной научно-технической конференции (г. Саранск, 23–25 декабря 2015 г.). Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2015. Ч. 2. С. 21–24.

14. Рябков М.И., Баранова А.А., Скулин А.С., Коцырь А.И. Исследование теплопроводности автоклавного газобетона // Современные технологии и научно-технический прогресс. 2021. № 8. С. 195–196.

15. Баранова А.А. Теплопроводность и термическое сопротивление неавтоклавного пенобетона на основе микрокремнезема // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2020. Т. 10. № 3 (34). С. 370–377.
<https://doi.org/10.21285/2227-2917-2020-3-370-377>.

16. Baranova A., Ryabkov I. Investigation of thermal conductivity of non-autoclaved foam concrete based on microsilica // Investments, Construction, Real Estate: New Technologies and Special-Purpose Development Priorities: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (25 April 2019, Irkutsk). Published under licence by IOP Publishing Ltd. 2019. Vol. 667. P. 012010.
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/667/1/012010>.

17. Рябков И.В., Баранова А.А. Влияние средней плотности и влажности пенобетона на основе микрокремнезема на коэффициент теплопроводности // Современные технологии и научно-технический прогресс. 2019. Т. 1. С. 204–205.

REFERENCES

1. Vylegzhanin V.P., Pinsker V.A., Petrova T.M. Microporosity of cellular concrete and its effect on thermal conductivity. *Stroitel'nye Materialy = Construction Materials*. 2021;8:67-71. (In Russ.).
<https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-794-8-67-71>.

2. Kornienko S.V. Thermal conductivity of aerated concrete walls under operational conditions. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitelstvo i arhitektura*. 2020;3:152-159. (In Russ.).

3. Gorshkov A.S., Pestryakov I.I., Korniyenko S.V., Vatin N.I., Olshevskiy V.Ya. Actual thermal insulation properties of cellular autoclave curing concretes. *Stroitelstvo unikalnih zdanii i sooruzhenii = Construction of unique buildings and structures*. 2018;5:75-104. (In Russ.).
<https://doi.org/10.18720/CUBS.68.7>.

4. Yafei S., Peiwei G., Fei G., Li H., Zhang L., Liu H. Thermal conductivity and mechanical properties of porous concrete materials. *Materials Letters*.

2017;209:349-352.
<https://doi.org/10.1016/j.matlet.2017.08.046>.

5. Othuman Mydin M.A. An experimental investigation on thermal conductivity of lightweight Foamcrete for thermal insulation. *Jurnal Teknologi*. 2013;63(1):43-49.
<https://doi.org/10.11113/jt.v63.1368>.

6. Habsya Ch., Diharjo K., Setyono P., Satwiko P. Physical, mechanical and thermal properties of lightweight foamed concrete with fly ash. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018;420:012062. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/420/1/012062>.

7. Batool F., Rafi M.M., Bindiganavile V. Microstructure and thermal conductivity of cement-based foam A review. *Journal of Building Engineering*. 2018;20:696-704.
<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.09.008>.

8. Asadi I., Shafigh P., Abu Hassan Z.F.B., Mahyuddin N.B. Thermal conductivity of concrete – A review. *Journal of Building Engineering*.

2018;20:81-93.

<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.07.002>.

9. Liu S., Zhu K., Cui Sh., Shen X., Tan G. A novel building material with low thermal conductivity: Rapid synthesis of foam concrete reinforced silica aerogel and energy performance simulation. *Energy and Buildings*. 2018;177:385-393. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.08.014>.

10. Farnaz B., Prasad N.N.G., Bindiganavile V. Statistical modeling of thermal conductivity for cement-based foam. *Journal of Building Engineering*. 2018;19:449-458.

<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.05.022>.

11. Batool F., Bindiganavile V. Quantification of factors influencing the thermal conductivity of cement-based foam. *Cement and Concrete Composites*. 2018. P. 76–86.

<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.04.015>.

12. Krutilin A.B., Rykhlyonak Yu.A., Liashkevich V.V. Thermophysical characteristics of autoclaved cellular concretes of low densities and their effect on the durability of external walls of buildings. *Inzhenerno-stroitel'nyy jurnal = Magazine of civil engineering*. 2015;2:46-55. (In Russ.).

<https://doi.org/10.5862/MCE.54.5>.

13. Grinfeld G.I., Korkina E.V., Pastushkov P.P., Pavlenko P.P., Erofeeva I.V., Gubanov D.A. Investigation of thermal conductivity of cellular concrete // *Aktual'nye voprosy arkhitektury i stroitel'-stva: materialy chetyrnadtsatoi Mezhdunarodnoi nauchno-tehnicheskoi konferentsii = Topical issues of architecture and construction: materials of the Fourteenth International Scientific and Technical*

Conference. 23-25 December 2015, Saransk. Saransk: National Research Ogarev Mordovia State University; 2015. (In Russ.).

14. Ryabkov M.I., Baranova A.A., Skulin A.S., Kotsyr A.I. Investigation of thermal conductivity of autoclaved aerated concrete. *Sovremennye tehnologii i nauchno-tehnicheskii progress = Modern technologies and scientific and technological progress*. 2021;8:195-196. (In Russ.).

15. Baranova A.A. Thermal conductivity and thermal resistance of non-autoclaved foam concrete based on microsilicon. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2020;10(3):370-377. (In Russ.).

<https://doi.org/10.21285/2227-2917-2020-3-370-377>.

16. Baranova A., Ryabkov I. Investigation of thermal conductivity of non-autoclaved foam concrete based on microsilica. *Investments, Construction, Real Estate: New Technologies and Special-Purpose Development Priorities: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (25 April 2019, Irkutsk). Published under licence by IOP Publishing Ltd. 2019. Vol. 667. P. 012010. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/667/1/012010>.

17. Ryabkov I.V., Baranova A.A. The influence of the average density and humidity of foam concrete based on silica on the coefficient of thermal conductivity. *Sovremennye tehnologii i nauchno-tehnicheskii progress = Modern technologies and scientific and technical progress*. 2019;1:204-205. (In Russ.).

Информация об авторах

Баранова Альбина Алексеевна,

к.т.н., доцент, доцент кафедры
промышленного и гражданского
строительства,
Ангарский государственный
технический университет,
665835, г. Ангарск, ул. Чайковского, 60, Россия,
e-mail: baranova2012aa@mail.ru
<https://orcid.org./0000-0002-5939-3334>

Рябков Максим Игоревич,

магистрант,
Ангарский государственный
технический университет,
665835, г. Ангарск, ул. Чайковского, 60, Россия,
e-mail: ryabkov_maksim@ngs.ru
<https://orcid.org./0000-0003-1878-4598>

Скулин Александр Сергеевич,

магистрант,
Ангарский государственный
технический университет,
665835, г. Ангарск, ул. Чайковского, 60, Россия,
e-mail: cfif.skulin@yandex.ru
<https://orcid.org./0000-0002-6810-4696>

Information about the authors

Albina A. Baranova,

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

Maksim I. Ryabkov,

Master's Degree Student,
Angarsk State
Technical University,
60 Tchaikovsky St., Angarsk 665835, Russia,
e-mail: ryabkov_maksim@ngs.ru
<https://orcid.org./0000-0003-1878-4598>

Alexander S. Skulin,

Master's Degree Student,
Angarsk State
Technical University,
60 Tchaikovsky St., Angarsk 665835, Russia,
e-mail: cfif.skulin@yandex.ru
<https://orcid.org./0000-0002-6810-4696>

Вклад авторов

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 10.11.2022.
Одобрена после рецензирования 08.12.2022.
Принята к публикации 09.12.2022.

Contribution of the authors

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

Conflict of interests

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

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

Information about the article

The article was submitted 10.11.2022.
Approved after reviewing 08.12.2022.
Accepted for publication 09.12.2022.



Использование теплоты вытяжного воздуха для жилых зданий с теплым чердаком

Е.А. Зырянов¹ ✉, Е.В. Тарасова², В.П. Черненко³, Е.К. Трухин⁴

^{1,2,3,4}Дальневосточный федеральный университет, п. Аякс, о. Русский, г. Владивосток, Россия

Аннотация. В России распространены жилые дома с теплым чердаком и естественной вытяжной вентиляцией, для которых использование теплоты вытяжного воздуха имеет большой потенциал для энергосбережения. Цель исследования – проанализировать существующий опыт и схемы рекуперации теплоты вытяжного воздуха для жилых зданий, разработать оптимальную схему с учетом особенностей многоэтажных домов с теплым чердаком; провести расчет потенциала теплоты вытяжного воздуха на примере реального объекта. Представлен анализ существующих схем рекуперации теплоты вытяжного воздуха для жилых зданий; результаты теоретических и практических расчетов обеспечения тепловой нагрузки на горячее водоснабжение за счет рекуперации теплоты вытяжного воздуха для многоквартирных домов. Теоретическое значение обеспечения тепловой нагрузки на горячее водоснабжение за счет рекуперации теплоты вытяжного воздуха – 45,6%. По результатам замеров параметров вытяжного воздуха в существующем жилом здании, его потенциала достаточно для обеспечения до 75% среднечасовой тепловой нагрузки на горячее водоснабжение. Предложенная схема рекуперации теплоты зданий с теплым чердаком может являться частью комплексных мер по уменьшению энергопотребления здания и улучшению системы вентиляции.

Ключевые слова: вентиляция многоэтажных жилых зданий, рекуперация теплоты, теплый чердак, энергосбережение

Для цитирования: Зырянов Е.А., Тарасова Е.В., Черненко В.П., Трухин Е.К. Использование теплоты вытяжного воздуха для жилых зданий с теплым чердаком // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 1. С. 28–38. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-1-28-38>.

Original article

Using exhaust air heat for residential buildings with warm attics

Evgeny A. Zyryanov¹ ✉, Elena V. Tarasova²,
Vladimir P. Chernenkov³, Evgeny K. Trukhin⁴

^{1,2,3,4}Far Eastern Federal University, Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, Russia

Abstract. In Russia, residential buildings with warm attics and natural exhaust ventilation are common. Thus, the use of the exhaust air heat has a great potential in terms of energy efficiency. The aim of the study is to analyze existing experiences and exhaust air heat recovery for residential buildings, to develop an optimal circuitry taking into account the characteristics of multi-story buildings with warm attics, as well as to calculate the potential of exhaust air heat on the example of a real facility. The authors analyzed the existing exhaust air heat recovery circuitry for residential buildings, introduced the results of theoretical and practical calculations about heating load for hot water supply by means of exhaust air heat recovery in apartment buildings. The theoretical value for hot water heating load by means of exhaust air heat recovery comprises 45.6%. The measurements of the exhaust air in a residential building proved its sufficiency to provide up to 75% of the average hourly heat load for hot water supply. The suggested heat recovery circuitry for buildings with warm attics can contribute to comprehensive measures for reducing energy consumption and improving ventilation.

Keywords: ventilation of multi-storey residential buildings, heat recovery, warm attic, energy saving

For citation: Zyryanov E.A., Tarasova E.V., Chernenkov V.P., Trukhin E.K. Using exhaust air heat for residential buildings with warm attics. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2023;13(1):28-38. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-1-28-38>.

ВВЕДЕНИЕ

В жилых многоэтажных зданиях часто используется схема обеспечения воздухообмена посредством естественной вентиляции с теплым чердаком [1]. Такой вид вентиляции требует наименьших капиталовложений и эксплуатационных затрат, но имеет существенные недостатки: вытяжной воздух выбрасывается наружу без рекуперации теплоты, иначе говоря теплота вытяжного воздуха не используется. Между тем, рекуперация теплоты в системах вентиляции является классическим энергосберегающим решением [2–13].

В ряде стран, таких как Корея, США, Япония, Австралия, а также странах ЕС, системы вентиляции многоквартирных домов развиваются по двум основным направлениям [14]:

– общедомовая приточно-вытяжная вентиляция с рекуперацией тепла вытяжного воздуха, позволяющая получить экономию расхода тепла на нужды отопления и вентиляции до 40%;

– поквартирные системы вентиляции с рекуперацией тепла вытяжного воздуха, имеющие большой потребительский эффект, поскольку оборудование устанавливается внутри квартиры и не зависит от работы общедомовых систем. Кроме того, потребитель управляет микроклиматом в своей квартире и определяет режим работы самостоятельно.

Почти за 12 лет действия Федерального закона № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» на практике не были достигнуты существенные результаты по повышению энергетической эффективности для систем вентиляции жилых многоквартирных зданий [15]. Это связано также и с тем, что существует не так много проработанных решений по энергосбережению, дающих ощутимый эффект при минимальных вмешательствах в существующие инженерные системы.

Целью данной статьи является: анализ существующего опыта и схем рекуперации теплоты вытяжного воздуха для жилых зданий, разработка новой схемы с учетом особенностей многоэтажных домов с теплым чердаком, и определение потенциала теплоты вытяжного воздуха на примере реального

объекта.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Произведен поиск технических решений систем отбора тепловой энергии из воздуха, удаляемого системой вентиляции. Среди реализованных объектов наиболее известен пример системы рекуперации теплоты вытяжного воздуха для многоквартирного жилого дома в г. Москве [2, 3, 16]. Согласно схеме утилизации теплоты для горячего водоснабжения из вытяжного воздуха рекуперировалась 110 кВт теплоты при общем расходе теплоты на ГВС 320 кВт, что составляет 34,3%. Однако, в этом доме изначально была запроектирована механическая вентиляция и схема с утилизаторами теплоты вытяжного воздуха, тепловым насосом и утилизатором теплоты сточных вод. Для реконструкции жилых домов с теплым чердаком и естественной вентиляцией подобная схема реализации рекуперации теплоты малоприменима, так как требует кардинальных вмешательств в существующую систему вентиляции построенного здания.

Также произведен поиск среди запатентованных схем по теме «Автономная система отбора тепловой энергии из вентиляции». Поиск выполнен на глубину 30 лет – с 1990 по 2020 гг. [17–21]. Технические решения, наиболее подходящие для многоквартирных жилых домов, следующие:

– JP1999270924. Cooling, heating, hot-water supplying and ventilating device (Устройство для охлаждения, отопления, горячего водоснабжения и вентиляции). Это техническое решение предлагается для индивидуального жилого дома, но может быть использовано в качестве поквартирной системы. Теплота вытяжного воздуха с помощью теплового насоса передается в бак-аккумулятор горячей воды и далее используется для горячего водоснабжения. Для использования в многоэтажном здании, потребуется множество таких установок. Работа системы вентиляции осуществляется только механическим побуждением – вентилятором.

– DE202006005469. Water preheating device for low-energy home, uses heat exchanger receiving heat from exhausted ventilation air and additional heat exchanger that is part of building heating system (Устройство предварительного

нагрева воды для дома с низким энергопотреблением, использующее теплообменник, получающий тепло от вытяжного вентиляционного воздуха, и дополнительный теплообменник, входящий в состав системы отопления здания) [8]. В данной схеме теплота вытяжного воздуха используется для системы нагрева горячей воды по двухступенчатой схеме. Тепловой насос отбирает тепло из вытяжного воздуха и передает его в систему циркуляции с теплообменником и баком аккумулятором. Далее нагретая вода поступает во второй бак аккумулятор для догрева до требуемой температуры с помощью теплоносителя из системы теплоснабжения. В этом техническом решении не проработана схема вентиляции, место установки теплового насоса.

– EP2853829. Air-conditioning device and method for controlling such an air-conditioning device (Устройство кондиционирования воздуха и способ управления таким устройством кондиционирования воздуха). Вытяжной воздух собирается в коллектор и подается в тепловой насос. Тепловой насос воздух/вода нагревает теплоноситель для системы отопления и вентиляции. В схеме отсутствует теплый чердак как отдельный этаж для сбора вентиляционного воздуха, имеется только вентиляционный коллектор. Вытяжная вентиляция осуществляется только с механическим побуждением – вентилятором. Расход вытяжного воздуха изменяется в зависимости от содержания CO₂ или NO_x в вытяжном воздухе. Для постоянства расхода воздушного потока через тепловой насос имеется подмес наружного холодного воздуха, что понижает температуру смеси воздуха и понижается эффективность работы теплового насоса, особенно это ощутимо в холодный период года.

– EP2253892. Method for using heat released through natural ventilation within a central heating system of a building and for producing hot water (Способ использования тепла, выделяемого естественной вентиляцией в системе центрального отопления здания и для производства горячей воды). В изобретении предлагается способ использования тепла, получаемого с помощью теплового насоса от вентиляции с естественным побуждением, для центрального отопления здания (включая многоквартирные дома) и горячего водоснабжения. В вентиляционной шахте установлен теплообменник, через который циркулирует незамерзающий теплоноситель. Используется тепловой насос вода/вода. В схеме не предусмотрено наличие теплого чердака, а также имеется

дополнительный контур с теплообменником, снижающим эффективность работы теплового насоса и рекуперации теплоты. Разработана схема использования теплоты вытяжного вентиляционного воздуха для нужд системы горячего водоснабжения, учитывающая особенности зданий с теплым чердаком [17].

Схема представлена на рис. 1. Вытяжной воздух из вентиляционных блоков с каналами спутниками 7 поступает в пространство теплого чердака и далее через вытяжную шахту 13 удаляется наружу. Наиболее теплый вентиляционный воздух скапливается в верхней части пространства теплого чердака – под крышным покрытием. Возле вентиляционной шахты 13, под крышным покрытием, находится теплообменник 4, через который вентилятором 3 пропускается вытяжной вентиляционный воздух. Вентиляторы 3 для осуществления функции постоянства расхода вентиляционного воздуха должны иметь систему автоматического поддержания постоянства напора. Внутри теплообменника 4 находится испаритель теплового насоса. Испаритель связан с тепловым насосом через систему трубок 2, по которым течет холодильный агент. Воздух проходит через перфорированную решетку 12 и поступает в воздушные каналы испарителя 4, где отдает свою теплоту холодильному агенту теплового насоса 1. Далее охлажденный воздух через направляющие решетки поступает в вытяжную шахту 13 и выходит наружу. Перфорированная решетка 12 необходима для равномерного распределения воздушного потока в испарителе 4. В нижней части шахты 13 установлен утепленный вентиляционный клапан 17. При работе вентиляторов 3, клапан 17 имеет положение «закрыто». Вентиляционный клапан 17 имеет систему подогрева для защиты от обмерзания и резервный источник питания 18. В случае непредвиденных обстоятельств и отключения системы электроснабжения жилого здания, клапан 17 с помощью резервного источника питания 18 переводится в положение «открыто». Также в положение «открыто» клапан 17 переходит при отключении вентиляторов 3. В нижней части теплообменника 4 находится поддон для сбора конденсата, и через патрубки 16 конденсат отводится в систему канализации. Тепловой насос 1, используя низкопотенциальную теплоту вытяжного воздуха, подогревает воду, циркулирующую между тепловым насосом и баком-аккумулятором. Далее нагретая вода используется для нужд горячего водоснабжения жилого здания.

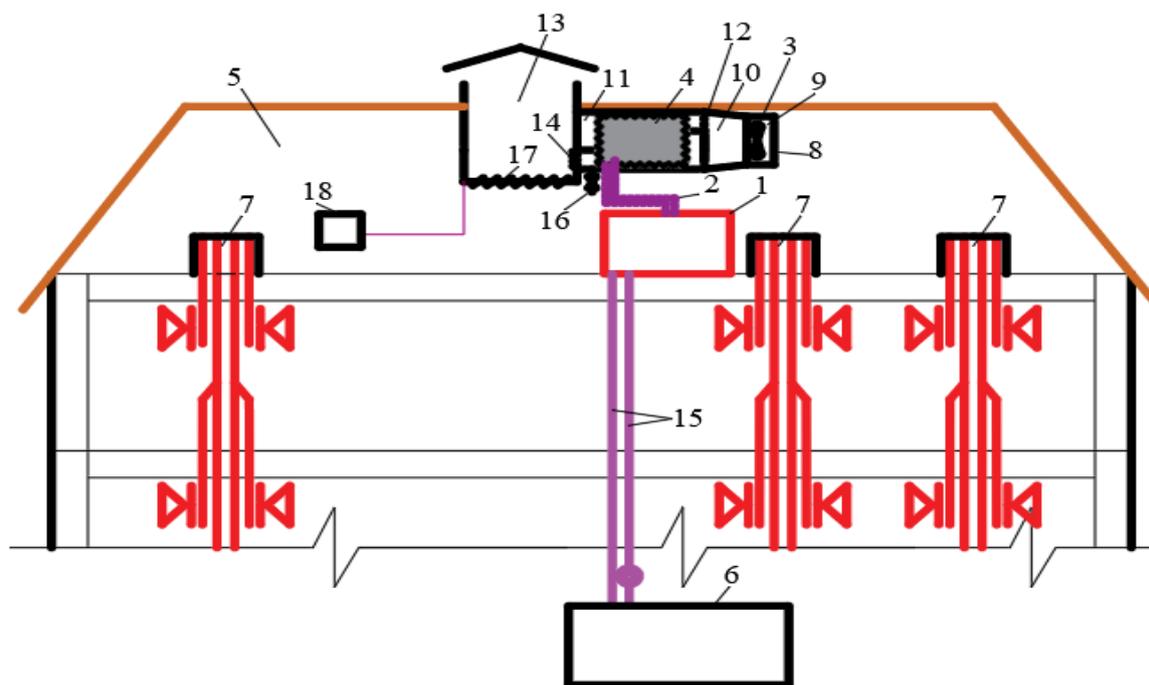


Рис. 1. Схема использования вытяжного вентиляционного воздуха здания для системы горячего водоснабжения: 1 – тепловой насос; 2 – циркуляционный контур; 3 – вентилятор; 4 – испаритель; 5 – теплый чердак; 6 – аккумуляторный бак; 7 – вентиляционный коллектор; 8 – корпус вентиляционной установки; 9 – входная секция; 10 – соединительная секция; 11 – секция теплообменника; 12 – перфорированная решетка; 13 – вытяжная шахта; 14 – боковая вертикальная поверхность вытяжной шахты; 15 – трубки циркуляционного контура; 16 – слив для поддона; 17 – утепленный вентиляционный клапан; 18 – резервный источник питания

Fig. 1. Scheme of using the exhaust ventilation air of the building for the hot water supply system:

1 – heat pump; 2 – circulation circuit; 3 – fan; 4 – evaporator; 5 – warm attic; 6 – battery tank; 7 – ventilation manifold; 8 – housing of the ventilation unit; 9 – input section; 10 – connecting section; 11 – heat exchanger section; 12 – perforated grating; 13 – exhaust shaft; 14 – side vertical surface of the exhaust shaft; 15 – tubes of the circulation circuit; 16 – drain for the pallet; 17 – insulated ventilation valve; 18 – backup power supply

Для оценки потенциала теплоты, содержащегося в вытяжном воздухе, рассчитаны (таблица):

1. Среднечасовые расходы теплоты на горячее водоснабжение в зависимости от количества потребителей (формула 1);

2. Расход явной теплоты, который возможно снять с вентиляционного воздуха, при температурном перепаде 12,5 °С, в зависимости от количества жителей в доме (формула 3).

Среднечасовой расход тепловой энергии, кВт, на приготовление горячей воды с учетом потерь теплоты подающими и циркуляционными трубопроводами [СП 124.13330.2012]:

$$Q_T^h = 1.16 \cdot q_T^h \cdot (t^h - t^c) + Q^{hr} \text{ кВт}, \quad (1)$$

где q_T^h , средний часовой расход воды, м³/ч:

$$q_T^h = q_T^h \cdot U_i / (1000 \cdot T), \text{ м}^3/\text{ч}; \quad (2)$$

q_T^h – норма расхода горячей воды в сутки, 70 л/сут; U_i – число водопотребителей, чел; T – расчетное время водопотребления, ч (принято 24 ч); Q^{hr} в зависимости от располо-

жения индивидуального теплового пункта (ИТП), принятой конструктивной схемы горячего водоснабжения определяется расчетом и может составлять (20–60)% от Q_T^h . Значение Q_T^h ориентировочно принято равным 35%; t^h – температура горячей воды в местах водоразбора или на границе балансовой принадлежности, для предварительных расчетов допускается принимать $t^h = 65$ °С; t^c – температура в системе холодного водоснабжения, при отсутствии данных следует принимать $t^c = 5$ °С.

Расход явной теплоты, содержащийся в удаляемом вентиляционном воздухе:

$$Q_B = c_B \cdot \rho \cdot L \cdot \Delta t / 3.6 \text{ кВт}, \quad (3)$$

где L – расход вентиляционного воздуха, принят на 1 чел., 30 м³/ч; c_B – теплоемкость, 1,03 кДж/(кг·°С); ρ – плотность воздуха, 1,2 кг/м³; Δt – температурный перепад, °С.

Среднечасовой расход теплоты на горячее водоснабжение и расход явной теплоты содержащийся в удаляемом вентиляционном воздухе в зависимости от количества людей
Average hourly heat consumption for hot water supply and sensible heat consumption taken from ventilation air depending on the number of people

U_i	q_T^h	Q^{hr}	Q_T^h	L,	Q_B	Обеспечение нагрузки ГВС
чел.	м ³ /ч	кВт	кВт	м ³ /ч	кВт	%
50	0,15	3,55	13,70	1500	6,25	45,6
100	0,29	7,11	27,41	3000	12,5	45,6
150	0,44	10,66	41,11	4500	18,75	45,6
200	0,58	14,21	54,81	6000	25	45,6
250	0,73	17,76	68,51	7500	31,25	45,6
300	0,88	21,32	82,22	9000	37,5	45,6
400	1,17	28,42	109,62	12000	50	45,6
500	1,46	35,53	137,03	15000	62,5	45,6
600	1,75	42,63	164,43	18000	75	45,6
700	2,04	49,74	191,84	21000	87,5	45,6
800	2,33	56,84	219,24	24000	100	45,6
900	2,63	63,95	246,65	27000	112,5	45,6
1000	2,92	71,05	274,05	30000	125	45,6

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Из данных таблицы видно, что предложенная установка может обеспечить 45,6% среднечасовой нагрузки на ГВС. Проведен расчет потенциала теплоты вытяжного воздуха на примере реального объекта – жилого многоквартирного дома с теплым чердаком в г. Владивостоке. В доме имеется 24 жилых этажа, по 10 квартир на каждом этаже, общая площадь одного этажа – 436 м².

В проектной документации воздухообмен определен по нормативно требуемым значениям вытяжки из кухни $L_{кухня+}$ и сан. узлов $L_{с/у}$. Воздухообмен для 10-ти квартир одного этажа – 1100 м³/ч, следовательно для всей жилой части здания

$$\sum L_{проект} = 110 * 24 = 26400, \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Однако оценочное количество жителей в доме – 800 чел. В соответствии с нормами, при расходе воздуха 30 м³/чел этажа теоретическое количество воздуха, выходящего на теплый чердак – 29 520 м³/ч. В доме были проведены замеры параметров вытяжного воздуха в теплом чердаке [22] с декабря 2020 г. по март 2021 г. Замеры производились в течение двух дней каждого месяца – одного рабочего и одного выходного дня. В течение дня 4 раза измерялись расход, влажность и температура вытяжного воздуха в вентиляционных каналах, выходящих на теплый чердак. Время проведения замеров: 7–8 ч; 12–13 ч; 15–16 ч и 20–21 ч. По результатам анализа данных построены графики (рис. 2) и (рис. 3), на которых представлено сравнение теорети-

ческих, проектных и фактических расходов по выходным и рабочим дням.

Как видно из графиков, общий расход воздуха, удаляемый из жилой части дома, меньше теоретического и заложенного в проекте. По результатам измерения он варьировался от 10 907,48 м³/ч до 21 368,27 м³/ч. Причины столь малого расхода могут быть следующие:

- герметично закрытые окна, не пропускающие приточный воздух в требуемом количестве;
- нарушение аэродинамики воздухопроводов, проектные ошибки;
- повышенное аэродинамическое сопротивление вентиляционных каналов, выполненных из строительных блоков и кирпичей, видны неровности и выступы строительной кладки внутри вентиляционных каналов;
- зависимость естественной вентиляции от скорости ветра, наружной температуры воздуха;
- в доме имеются не используемые, герметично закрытые квартиры.

При естественной тяге в существующей системе вентиляции значения проектного воздухообмена в жилой части дома не достигается.

В данном исследовании не ставилась задача проанализировать причины несоответствия расхода вытяжного воздуха проектным значениям, но для наладки системы вентиляции такой анализ необходим.

Использование разработанной схемы утилизации теплоты вытяжного воздуха предполагает наличие вытяжных вентиляторов, которые можно использовать для стабилизации тяги в вытяжных каналах.

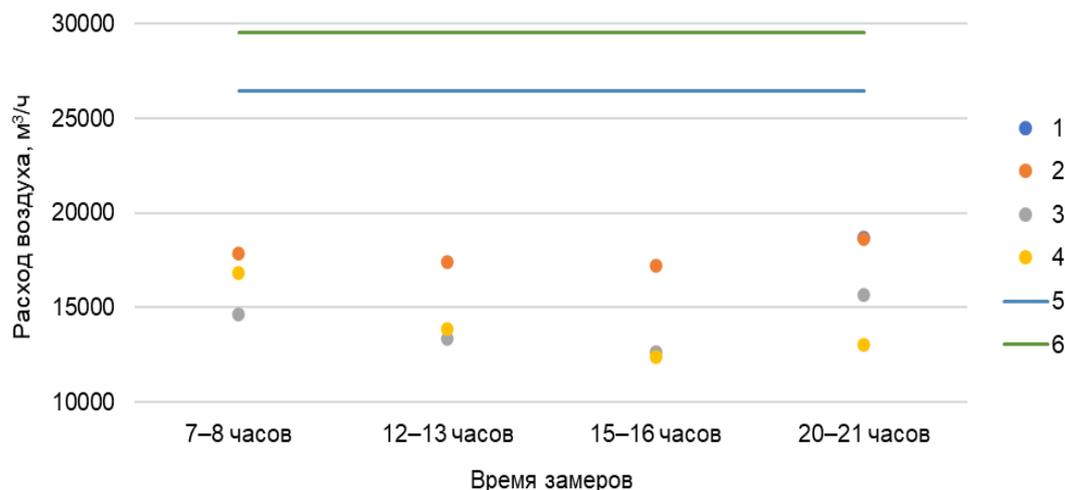


Рис. 2. График теоретических, проектных и фактических расходов воздуха по рабочим дням: 1 – 28.12.2020; 2 – 27.01.2021; 3 – 18.02.2021; 4 – 18.03.2021; 5 – проектный расход; 6 – теоретический расход

Fig. 2. schedule of theoretical, projected and actual air flow rates on weekends: 1 – Flow rate on 12/28/2020 working day, 2 – Flow rate on 01/27/2021 working day, 3 - Flow rate on 02/18/2021 working day, 4 - Flow rate on 03/18/2021 working day, 5 - design flow, 6 - theoretical flow

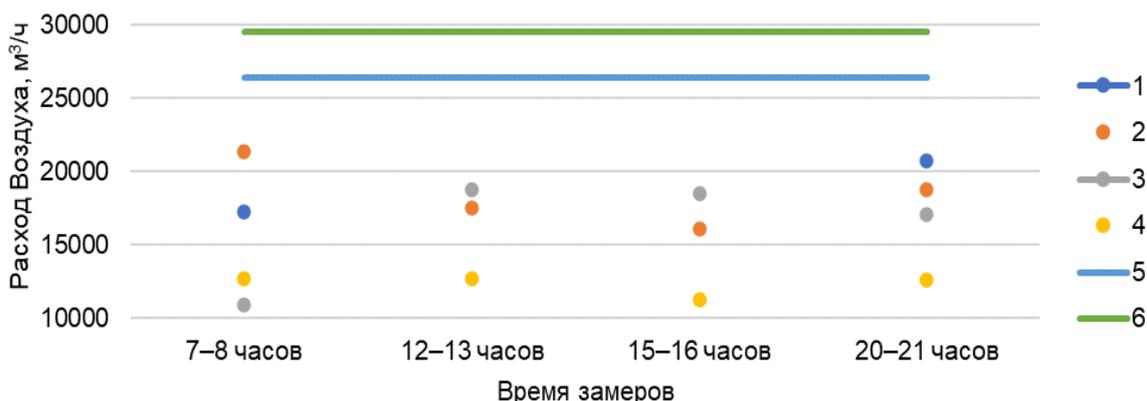


Рис. 3. График теоретических, проектных и фактических расходов воздуха по выходным дням: 1 – 26.12.2020; 2 – 31.01.2021; 3 – 28.02.2021; 4 – 21.03.2021; 5 – проектный расход; 6 – теоретический расход

Fig. 3. graph of theoretical, projected and actual air flow rates by working days: 1 – flow rate on 12/26/2020 working day, 2 – flow rate on 01/31/2021 working day, 3 – flow rate on 02/28/2021 working day, 4 – flow rate on 03/21/2021 working day, 5 – design flow, 6 – theoretical flow

Проанализировано фактическое среднесуточное потребление теплоты системой ГВС за январь 2021 г.:

- по показаниям теплосчетчика, установленного в ИТП дома – 65,19 кВт;
- теплоте, потраченной на нагрев объема воды, поступающей на систему ГВС согласно показаниям расходомера, в ИТП дома – 49,09 кВт;
- по квитанции теплотребления на ГВС дома за январь – 56,55 кВт.

По результатам этих данных принято, что среднечасовой расход теплоты на ГВС составляет $Q = 65,2$ кВт. В расчете по формуле (1) среднечасовой расход теплоты равен

219,24 кВт, что примерно на 70% больше фактического расхода. По результатам замеров средняя температура вытяжного воздуха составила 23,3 °С; для расчетов примем температуру равную 23 °С.

Для определения количества теплоты, снимаемого тепловым насосом (формула 3), заданы температурные перепады для вытяжного воздуха от 5 до 17,5 °С. При температурном перепаде в 5 °С воздушный поток после снятия теплоты будет иметь температуру 18 °С, при температурном перепаде 17,5 – 5 °С. Результаты расчетов представлены на рис. 5 и 6.

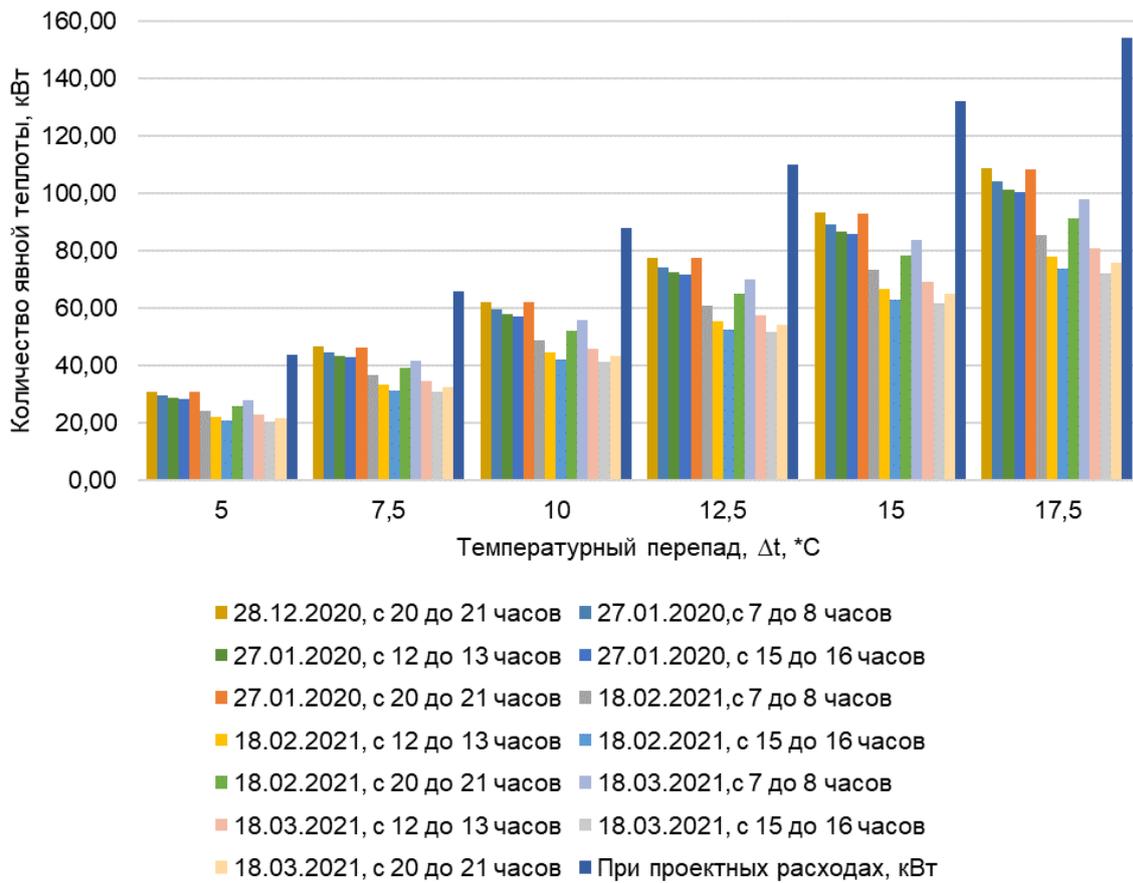


Рис. 5. Количество явной теплоты при фактических расходах в рабочие дни
 Fig. 5. The amount of sensible heat at actual costs on working days

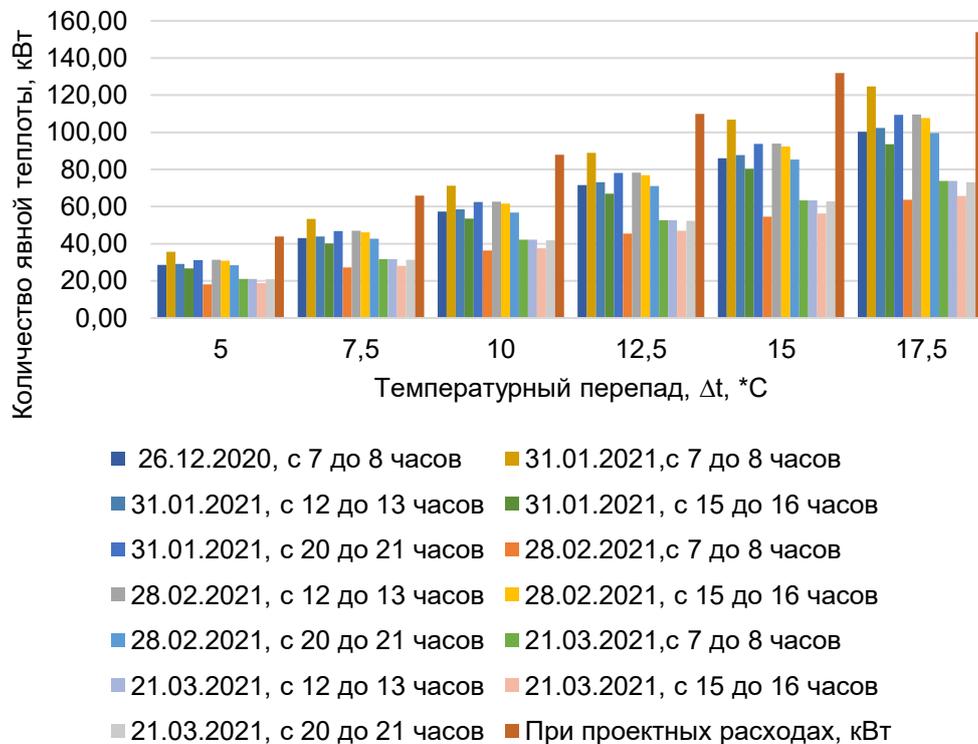


Рис. 6. Количество явной теплоты при фактических расходах в выходные дни
 Fig. 6. The amount of sensible heat at actual costs on working days

На графиках (рис. 5 и 6) видно, что при фактических расходах и температурном перепаде $\Delta t > 12,5$ °С среднечасовой расход теплоты на горячее водоснабжение – 65,2 кВт/ч обеспечивается в большинстве случаев замеров.

При проектном и теоретическом расходе вытяжного воздуха количество теплоты, снимаемое с воздушного потока при температурном перепаде 12,5, равно 110 и 123 кВт соответственно.

Рассчитан годовой расход теплоты на ГВС Q_{hw}^y согласно руководству АВОК-8-2005¹, который составляет 1667725 кВт*ч за год.

Стоимость тепловой энергии на ГВС за год

$$C_{ГВС} = V_{hw}^y \cdot C_{ГВСм^3}, \text{ руб} \quad (4)$$

где V_{hw}^y – объем горячей воды за год, м³; $C_{ГВСм^3}$ – стоимость 1 м³ горячей воды для г. Владивостока, $C=179,76$ (на первое полугодие 2022 г.).

Объем горячей воды:

$$V_{hw}^y = 3,6 \cdot Q_{hw}^y / (c_{\text{воды}} \cdot (t^h - t^c) \cdot \rho), \text{ м}^3 \quad (5)$$

где $t^c \cdot t^h$ – то же, что в формуле (1); ρ – плотность воды – 1000 кг/м³; $c_{\text{воды}}$ – теплоемкость воды – 4,2 Дж/(кг·°С); Q_{hw}^y – количество тепловой энергии, потребляемой системой горячего водоснабжения за год с учетом выключения системы на ремонт, кВт, определяют по формуле

$$V_{hw}^y = 23824,65 \text{ м}^3, C_{ГВС} = 4282719 \text{ руб.}$$

Приняв, что нагрев воды для ГВС будет происходить последовательно, сначала через теплообменник от теплового насоса с 5 до 40 °С (58,3% затрат теплоты от общей потребности нагрева), и далее через теплообменники от тепловой сети до 65 °С.

Стоимость нагрева воды до 40 °С:

$$C_{ГВС40} = C_{ГВС} \cdot (40 - 5) / (65 - 5) = 2\,498\,252 \text{ руб.}$$

Принято, что коэффициент преобразования теплового насоса при нагреве

воды до 40 °С – 4,4.

При этом для данного жилого дома применение разработанной схемы может дать экономию средств на теплоснабжение для ГВС до 1,5 млн руб. в год.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрена схема использования теплоты вытяжного вентиляционного воздуха здания для нужд системы горячего водоснабжения, которая применима к уже существующим зданиям с теплым чердаком. Произведены замеры расхода и температуры вытяжного воздуха, проходящего через теплый чердак эксплуатируемого жилого здания, результаты замеров показывают типовую проблему зданий с естественной вентиляцией, когда воздухообмен не соответствует нормативным значениям.

Для решения этой проблемы необходимо определение причин малого воздухообмена для каждого конкретного здания, представленная схема рекуперации теплоты может являться частью комплексных мер по улучшению системы вентиляции.

Теоретическое значение обеспечения тепловой нагрузки на горячее водоснабжение за счет рекуперации теплоты вытяжного воздуха составляет порядка 45,6%. Этот процент также зависит от схемы подключения теплообменника от теплового насоса в тепловом узле дома и схемы автоматизации процесса передачи теплоты.

Проанализированы результаты замеров расхода вытяжного воздуха в существующем жилом здании, установлено, что его потенциала достаточно для обеспечения до 75% среднечасовой тепловой нагрузки на горячее водоснабжение.

Для данного жилого дома применение разработанной схемы может дать экономию средств на теплоснабжение для ГВС до 1,5 млн руб. в год, процент обеспечения теплотой ГВС от утилизации теплоты вытяжного воздуха – 58,3%.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Шонина Н.А. Вентиляция для многоэтажных жилых зданий // АВОК: вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2013. № 6. С. 22–38.
2. Васильев Г.П. Энергоэффективный жилой дом в Москве // АВОК: вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 1999. № 4. С. 4–11.
3. Васильев Г.П. Энергоэффективный экспери-

- ментальный жилой дом в микрорайоне Никулино-2 // АВОК: вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2002. № 4. С. 10–18.
4. Choi Y., Song D., Seo D., Kim J. Analysis of the variable heat exchange efficiency of heat recovery ventilators and the associated heating energy demand // Energy and Buildings. 2018. Vol. 172. P. 152–158.

¹АВОК-8-2011 Руководство по расчету теплоснабжения эксплуатируемых жилых зданий // [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200094066> (29.10.2023).

<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.04.066>.
 5. Juodis E. Extracted ventilation air heat recovery efficiency as a function of a building's thermal properties // *Energy and Buildings*. 2006. Vol. 38. Iss. 6. P. 568–573. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.07.002>.
 6. Hurnik M., Specjal A., Popiolek Z. On-site diagnosis of hybrid ventilation system in a renovated single-family house // *Energy and Buildings*. 2017. Vol. 149. P. 123–132. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.05.034>.
 7. Lapertot A., Cuny M., Kadoch B., Le Métayer O. Optimization of an earth-air heat exchanger combined with a heat recovery ventilation for residential building needs // *Energy and Buildings*. 2021. Vol. 235. P. 110702. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110702>.
 8. Martins N.R., Bourne-Webb P.J. Providing renewable cooling in an office building with a Ground-Source heat pump system hybridized with natural ventilation & personal comfort systems // *Energy and Buildings*. 2022. Vol. 261. P. 111982. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111982>.
 9. Dorizas P.V., Stamp S., Mumovic D., Keqin Ya., Makris-Makridis D., Lipinski T. Performance of a natural ventilation system with heat recovery in UK classrooms: An experimental study // *Energy and Buildings*. 2018. Vol. 179. P. 278–291. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.09.005>.
 10. El Fouiha You., Stabat P., Rivière Ph., Hoanga Ph., Archambault V. Adequacy of air-to-air heat recovery ventilation system applied in low energy buildings // *Energy and Buildings*. 2012. Vol. 54. P. 29–39. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.08.008>.
 11. Knissel J., Peußner D. Energy efficient heat exchanger for ventilation systems // *Energy and Buildings*. 2018. Vol. 159. P. 246–253. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.10.091>.
 12. Khadra A., Hugosson M., Akander J., Myhren J.A. Economic performance assessment of three renovated multi-family buildings with different HVAC systems // *Energy and Buildings*. 2020. Vol. 224. P. 110275. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110275>.
 13. Ji Yo., Wu W., Wang W., Fan Yu., Hu S. Heat transfer model of the front-end capillary heat exchanger of a subway source heat pump system //

Energy and Buildings. 2022. Vol. 255. P. 111665. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111665>.
 14. Litiu A. Ventilation system types in some EU countries // *REHVA*. 2012. № 1 (49). P. 18–23.
 15. Васильев Г.П. Зачем России энергоэффективность? // *АВОК: вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика*. 2021. № 8. С. 14–20.
 16. Кокорин О.Я. Энергосбережение в системах отопления, вентиляции, кондиционирования. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2013. С. 238–252.
 17. Patent no. 1999270924, Japan. Cooling, heating, hot-water supplying and ventilating device / S. Tetsuya, S. Minoru. Depose 23.03.1998; publ. 05.10.1999.
 18. Patent no. 202006005469, Germany. Water preheating device for low-energy home, uses heat exchanger receiving heat from exhausted ventilation air and additional heat exchanger that is part of building heating system / P. Grosch Meyer. Depose 05.04.2006; publ. 27.07.2006.
 19. Patent no. 2853829, EPO. Air-conditioning device and method for controlling such an air-conditioning device / C. Clint, R. William. Depose 24.09.2014; publ. 01.04.2015.
 20. Patent no. 2253892A2, EPO. Method for using heat released through natural ventilation within a central heating system of a building and for producing hot water / L. Kruusel, I. Pihtjoe. Depose 07.05.2010; publ. 24.11.2010.
 21. Пат. № 2761700 С1, РФ, МПК F24D 3/08 (2006.01), МПК F24D 3/08 (2006.01). Способ использования теплоты вытяжного вентиляционного воздуха здания для системы горячего водоснабжения и нужд отопления и система для его реализации / Е.К. Трухин, М.Ф. Харченко, Е.В. Тарасова. Заявл. 27.04.2021; опубл. 13.12.2021. 12 с.
 22. Тарасова Е.В., Зырянов Е.А. Анализ воздухообмена в жилом многоквартирном здании в г. Владивостоке // *Молодежь и научно-технический прогресс: материалы региональной научно-практической конференции* (г. Владивосток, 01 мая – 30 июня 2021 г.). Владивосток: Дальневосточный федеральный университет, 2021. С. 433–438.

REFERENCES

1. Shonina N.A. Ventilation for multistory residential buildings. *AVOK: ventilyatsiya, otoplenie, konditsionirovanie vozdukha, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika = ABOK: Engineers for heating, ventilation, air-conditioning, heat supply & building thermal physics*. 2013;6:22-38. (In Russ.).
 2. Vasilyev G.P. Energy-efficient residential building in Moscow. *AVOK: ventilyatsiya, otoplenie, konditsionirovanie vozdukha, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika = ABOK: Engineers for heating, ventilation, air-conditioning, heat supply & build-*

ing thermal physics. 1999;4:4-11. (In Russ.).
 3. Vasilyev G.P. Energy-efficient experimental residential building in the Nikulino-2 microdistrict. *AVOK: ventilyatsiya, otoplenie, konditsionirovanie vozdukha, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika = ABOK: Engineers for heating, ventilation, air-conditioning, heat supply & building thermal physics*. 2002;4:10-18. (In Russ.).
 4. Choi Y., Song D., Seo D., Kim J. Analysis of the variable heat exchange efficiency of heat recovery ventilators and the associated heating energy de-

- mand. *Energy and Buildings*. 2018;172:152-158. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.04.066>.
5. Juodis E. Extracted ventilation air heat recovery efficiency as a function of a building's thermal properties. *Energy and Buildings*. 2006;38(6):568-573 <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.07.002>.
6. Hurnik M., Specjal A., Popiolek Z. On-site diagnosis of hybrid ventilation system in a renovated single-family house. *Energy and Buildings*. 2017;149:123-132. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.05.034>.
7. Lapertot A., Cuny M., Kadoch B., Le Métayer O. Optimization of an earth-air heat exchanger combined with a heat recovery ventilation for residential building needs. *Energy and Buildings*. 2021;235:110702. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110702>.
8. Martins N.R., Bourne-Webb P.J. Providing renewable cooling in an office building with a Ground-Source heat pump system hybridized with natural ventilation & personal comfort systems. *Energy and Buildings*. 2022. Vol. 261. P. 111982. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111982>.
9. Dorizas P.V., Stamp S., Mumovic D., Keqin Ya., Makris-Makridis D., Lipinski T. Performance of a natural ventilation system with heat recovery in UK classrooms: An experimental study. *Energy and Buildings*. 2018;179:278-291. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.09.005>.
10. El Fouiha You., Stabat P., Rivière Ph., Hoanga Ph., Archambault V. Adequacy of air-to-air heat recovery ventilation system applied in low energy buildings. *Energy and Buildings*. 2012;54:29-39. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.08.008>.
11. Knissel J., Peußner D. Energy efficient heat exchanger for ventilation systems // *Energy and Buildings*. 2018. Vol. 159. P. 246–253. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.10.091>.
12. Khadra A., Hugosson M., Akander J., Myhren J.A. Economic performance assessment of three renovated multi-family buildings with different HVAC systems. *Energy and Buildings*. 2020;224:110275. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110275>.
13. Ji Yo., Wu W., Wang W., Fan Yu., Hu S. Heat transfer model of the front-end capillary heat exchanger of a subway source heat pump system. *Energy and Buildings*. 2022;255:111665. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111665>.
14. Litiu A. Ventilation system types in some EU countries. *REHVA*. 2012;1:18-23.
15. Vasilyev G.P. Why does russia need energy efficiency? *AVOK: ventilyatsiya, otoplenie, konditsionirovanie vozdukh, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika = ABOK: Engineers for heating, ventilation, air-conditioning, heat supply & building thermal physics*. 2021;8:14-20. (In Russ.).
16. Kokorin O.Ya. Energy saving in heating, ventilation, air conditioning systems. Moscow: PH of the Association of Construction Universities; 2013. p. 238-252.
17. Tetsuya S., Minoru S. *Cooling, heating, hot-water supplying and ventilating device*. Patent Japan, no. 1999270924, 1999.
18. Grosch Meyer P. *Water preheating device for low-energy home, uses heat exchanger receiving heat from exhausted ventilation air and additional heat exchanger that is part of building heating system*. Patent Germany, no. 202006005469, 2006.
19. Clint C., William R. *Air-conditioning device and method for controlling such an air-conditioning device*. Patent EPO, no. 2853829, 2015.
20. Kruusel L., Pihljo I. *Method for using heat released through natural ventilation within a central heating system of a building and for producing hot water*. Patent EPO, no. 2253892A2, 2010.
21. Trukhin E.K., Kharchenko M.F., Tarasova E.V. *A method of using the heat of the exhaust ventilation air of a building for hot water supply and heating needs and a system for its implementation*. Patent RF, no. 2761700 C1, 2021.
22. Tarasova E.V., Zyryanov E.A. Analysis of air exchange in a residential multi-storey building in Vladivostok. *Molodezh' i nauchno-tehnicheskii progress: materialy regional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Youth and scientific and technological progress: materials of a regional scientific and practical conference.*, 01 May – 30 June 2021, Vladivostok. Vladivostok: Far Eastern Federal University; 2021. p. 433-438.

Информация об авторах

Зырянов Евгений Андреевич,
студент магистратуры,
Дальневосточный федеральный университет,
690922, г. Владивосток, о. Русский,
п. Аякс, 10, Россия,
e-mail: evgeniy12333@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-9289-1266>

Information about the authors

Evgeny A. Zyryanov,
Graduate Student,
Far Eastern Federal University,
10 Ajax Bay, Russky Island,
Vladivostok 690922, Russia,
e-mail: evgeniy12333@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-9289-1266>

Тарасова Елена Владимировна,
к.т.н., доцент департамента
энергетических систем,
Дальневосточный федеральный университет,
690922, г. Владивосток, о. Русский,
п. Аякс, 10, Россия,
e-mail: tarasova.ev@dvfu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0955-5363>

Черненко Владимир Петрович,
к.т.н., доцент,
профессор департамента энергетических
систем,
Дальневосточный федеральный университет,
690922, г. Владивосток, о. Русский,
п. Аякс, 10, Россия,
e-mail: chernenkov.vp@dvfu.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0601-3342>

Трухин Евгений Константинович,
студент магистратуры,
Дальневосточный федеральный университет,
690922, г. Владивосток, о. Русский,
п. Аякс, 10, Россия,
e-mail: 585654@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9746-4335>

Elena V. Tarasova,
Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor
of the Department of Energy Systems,
Far Eastern Federal University,
10 Ajax Bay, Russky Island,
Vladivostok 690922, Russia,
e-mail: tarasova.ev@dvfu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0955-5363>

Vladimir P. Chernenkov,
Cand. Sci. (Eng.),
Associate Professor, Professor of the Department
of Energy Systems,
Far Eastern Federal University,
10 Ajax Bay, Russky Island,
Vladivostok 690922, Russia,
e-mail: chernenkov.vp@dvfu.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0601-3342>

Evgeny K. Trukhin,
Graduate Student,
Far Eastern Federal University,
10 Ajax Bay, Russky Island,
Vladivostok 690922, Russia,
e-mail: 585654@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9746-4335>

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 29.11.2022.
Одобрена после рецензирования 16.12.2022.
Принята к публикации 19.12.2022.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Conflict of interests

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

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

Information about the article

The article was submitted 29.11.2022.
Approved after reviewing 16.12.2022.
Accepted for publication 19.12.2022.



Исследование предпосылок влияния эксцентриситетов и отклонений осей на показатели напряженного-деформированного состояния железобетонных колонн в каркасах многоэтажных зданий

А.В. Ластовка¹, А.К. Мурзинцев²✉

^{1,2}Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

Аннотация. Целью работы является анализ вопросов, связанных с учетом особенностей определения параметров напряженно-деформированного состояния сжатых несущих элементов каркасных зданий. В материале освещены основные источники эксцентриситетов и причины их формирования, приведена характеристика различий поведения центрально и внецентренно сжатых железобетонных элементов. Также уделяется внимание вариантам распределения напряжений, как в поперечном сечении, так и по высоте внецентренно сжатых железобетонных элементов в зависимости от величины эксцентриситета. Проведенный анализ показал, что функциональная эффективность сжатых колонн каркаса напрямую зависит от первоначально установленных (запроектированных) показателей несущей способности, технологии и качества проведения соответствующих строительных процессов. Формирование эксцентриситетов и отклонений осей поперечного сечения для колонн каркаса является следствием недостаточного качества проектных решений (с учетом возможного проявления рассматриваемых явлений) и/или производства строительных работ. Учет проявлений эксцентриситетов и отклонений осей требует разработки специального алгоритма экспертизы фактических параметров напряженно-деформированного состояния и разработки комплекса мероприятий, необходимых для повышения показателей несущей способности колонн каркасов многоэтажных зданий. Предложенный в работе аналитический материал может быть использован при разработке методических рекомендаций по повышению несущей способности для внецентренно сжатых железобетонных колонн многоэтажных каркасных зданий.

Ключевые слова: железобетонные колонны, многоэтажные каркасные здания, сжатые несущие элементы, свойства бетона, эксцентриситет приложения нагрузки, параметры напряженно-деформированного состояния

Для цитирования: Ластовка А.В., Мурзинцев А.К. Исследование предпосылок влияния эксцентриситетов и отклонений осей на показатели напряженного-деформированного состояния железобетонных колонн в каркасах многоэтажных зданий // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 1. С. 39–47. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-1-39-47>.

Original article

Exploring influence of eccentricities and axis deviations on stress and strain state of reinforced concrete columns in multi-story frame buildings

Anatoly V. Lastovka¹, Arsenii K. Murzintcev²✉

^{1,2}Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Abstract. The aim of this paper is to analyze the issues associated with the determination of parameters for stress and strain state of compression load-bearing elements in frame buildings. The paper highlights the main sources and causes of eccentricities, as well as the differences in the behavior of centrally and eccentrically loaded reinforced concrete elements. Particular attention was also paid to stress distributions both in cross-sectional and height direction of eccentrically loaded reinforced concrete elements depending on the eccentricity value. According to the conducted analysis, the functional

efficiency of compression columns of the framework depends directly on initially set (designed) parameters of bearing capacity, technology and quality of implementation of corresponding construction processes. The formation of eccentricities and deviations of cross-section axes for framing columns is a consequence of insufficient design solutions (taking into account possible manifestations of the phenomena under consideration) and/or construction works. In order to consider eccentricities and axis deviations, the special algorithm should be developed to examine the actual parameters of the stress and strain state. Moreover, a set of measures should be introduced to increase the indicators of bearing capacity of columns for frameworks of multi-story buildings. The paper provides the analytical data which can be used in the development of guidelines for improving the bearing capacity for eccentrically loaded reinforced concrete columns of multi-story frame buildings.

Keyword: reinforced concrete columns, multi-storey frame buildings, compressed load-bearing elements, concrete properties, load application eccentricity, parameters of the stress-strain state

For citation: Lastovka A.V., Murzintsev A.K. Exploring influence of eccentricities and axis deviations on stress and strain state of reinforced concrete columns in multi-story frame buildings. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'* = *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2023;13(1):39-47. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-1-39-47>.

ВВЕДЕНИЕ

Случайный эксцентриситет. Особенности железобетона как композиционного материала

Случайный эксцентриситет – эксцентриситет продольной сжимающей силы, причинами возникновения которого могут быть:

- неоднородность свойств бетона по сечению при значительной высоте сечения и подвижной консистенции бетона;
- начальная кривизна оси сжатого элемента или ее отклонение от вертикали;
- неучтенные горизонтальные силы и другие причины.

Из-за неоднородности структуры бетона внешняя нагрузка создает в нем сложное напряженное состояние. В подвергнутом сжатию бетонном образце напряжения концентрируются на более жестких частицах, обладающих большим модулем упругости, вследствие чего по плоскостям соединения этих частиц возникают усилия, стремящиеся нарушить их связь. В результате в таком образце кроме продольных сжимающих напряжений возникают и поперечные растягивающие напряжения. Неоднородность бетона может отрицательно повлиять на эксплуатационные свойства железобетонных изделий.

Основные источники и причины формирования эксцентриситетов и смещений осей колонн каркаса

Характер работы сжатых вертикальных железобетонных несущих элементов каркаса зависит от их высоты (определяется проектной высотой этажа), способом поэтажного деления и видом закрепления концов (низа и верха железобетонной колонны): жестким, шарнирным или свободным. Эти условия учитываются в расчетах введением специального значе-

ния расчетной длины сжатого элемента l_0 [1].

На рис. 1 и 2 представлены примеры армирования поперечного сечения вертикального несущего железобетонного элемента при центральном и внецентренном сжатии (при наличии эксцентриситета e_0 приложения продольного усилия).

В условиях приложения центрального сжимающего усилия продольная рабочая арматура (A_s) функционирует равномерно на сжатие, поэтому наиболее рациональным способом является ее размещение по всему периметру поперечного сечения, а форма сечения – квадратная ($h = b$, рис. 1).

При внецентренном приложении сжимающего усилия основная продольная рабочая арматура ($A's$) располагается вдоль короткой стороны h поперечного сечения прямоугольной формы ($h < b$, рис. 2).

Именно короткая сторона h становится перпендикулярной по отношению к направлению действия изгибающего момента, вызванного проявлением эксцентриситета e_0 приложения продольного сжимающего усилия N . При больших значениях эксцентриситета e_0 часть рабочей арматуры $A's$, которая находится на стороне, противоположной эксцентриситету, может оказаться в растянутой зоне поперечного сечения железобетонной колонны.

Проектирование показателей несущей способности вертикальных несущих элементов каркаса сводится к определению формы и размеров поперечного сечения, назначению класса бетона и определению площади поперечного сечения продольной рабочей арматуры (A_s и $A's$), в зависимости от предполагаемого характера приложения сжимающего усилия (возможности проявления эксцентриситета) [2–9].

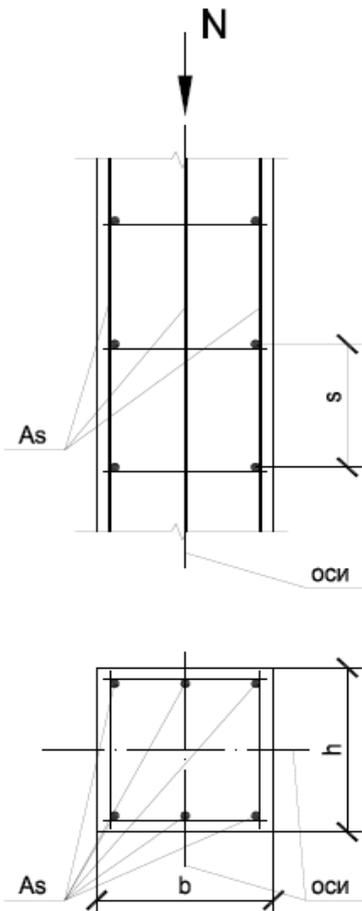


Рис. 1. Способ армирования поперечного сечения несущего вертикального элемента при центральном сжатии
Fig. 1. Method of reinforcement of the cross-section of the bearing vertical element with central compression

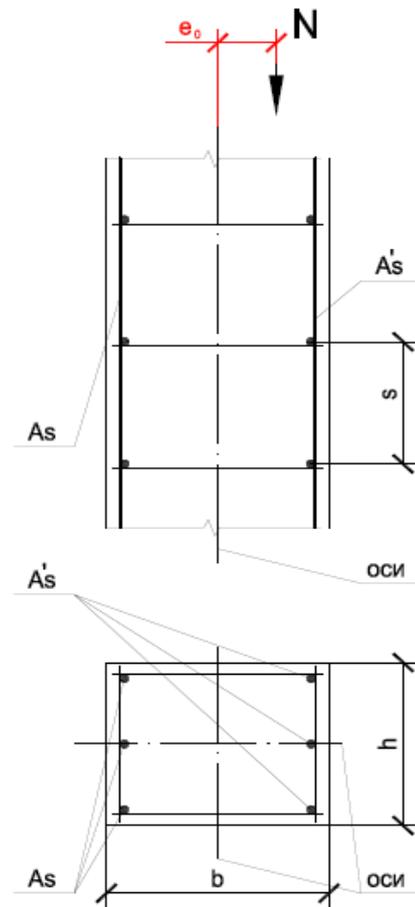


Рис. 2. Способ армирования поперечного сечения несущего вертикального элемента при внецентренном сжатии
Fig. 2. Method of reinforcement of the cross-section of the bearing vertical element with off-center compression

На рис. 3 представлены сборные железобетонные колонны поэтажной разбивки (в составе конструктивной системы многоэтажного здания), которые находятся в условиях центрального и внецентренного сжатия, в зависимости от приложения продольного усилия N :

– колонны проектных марок К-1 и К-3 (центральных рядов, по осям Б, В) – центрально сжатые элементы;

– колонны проектных марок К-2 и К-4 (крайних рядов, по осям А, Г) – внецентренно сжатые элементы.

Главная особенность конструирования центрально и внецентренно сжатых сборных железобетонных колонн каркаса многоэтажного здания состоит в их разделении на однотипные элементы, характеризующиеся простой формой, схемой армирования. Такие конструктивные элементы многоэтажных зданий (смонтированные из отдельных элемен-

тов), включаются в совместную работу по восприятию сжимающих усилий при помощи организации стыков вида: «низ колонны – верх колонны».

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Характеристика различных поведения центрально и внецентренно сжатых железобетонных конструктивных элементов

Колонны многоэтажных каркасных зданий работают в условиях воздействия внешней сжимающей нагрузки N (продольного усилия), приложенной с некоторым значением эксцентриситета e_0 (рис. 4). При рассмотрении обоих возможных вариантов приложения нагрузки сочетание осевого сжимающего усилия (или усилия со случайным эксцентриситетом e_0) и изгибающего момента (рис. 4, а) возможно заменить равнодействующей сжимающей силой, действующей с эксцентриситетом: $e_{0N} = M/N$ и наоборот (рис. 4, б).

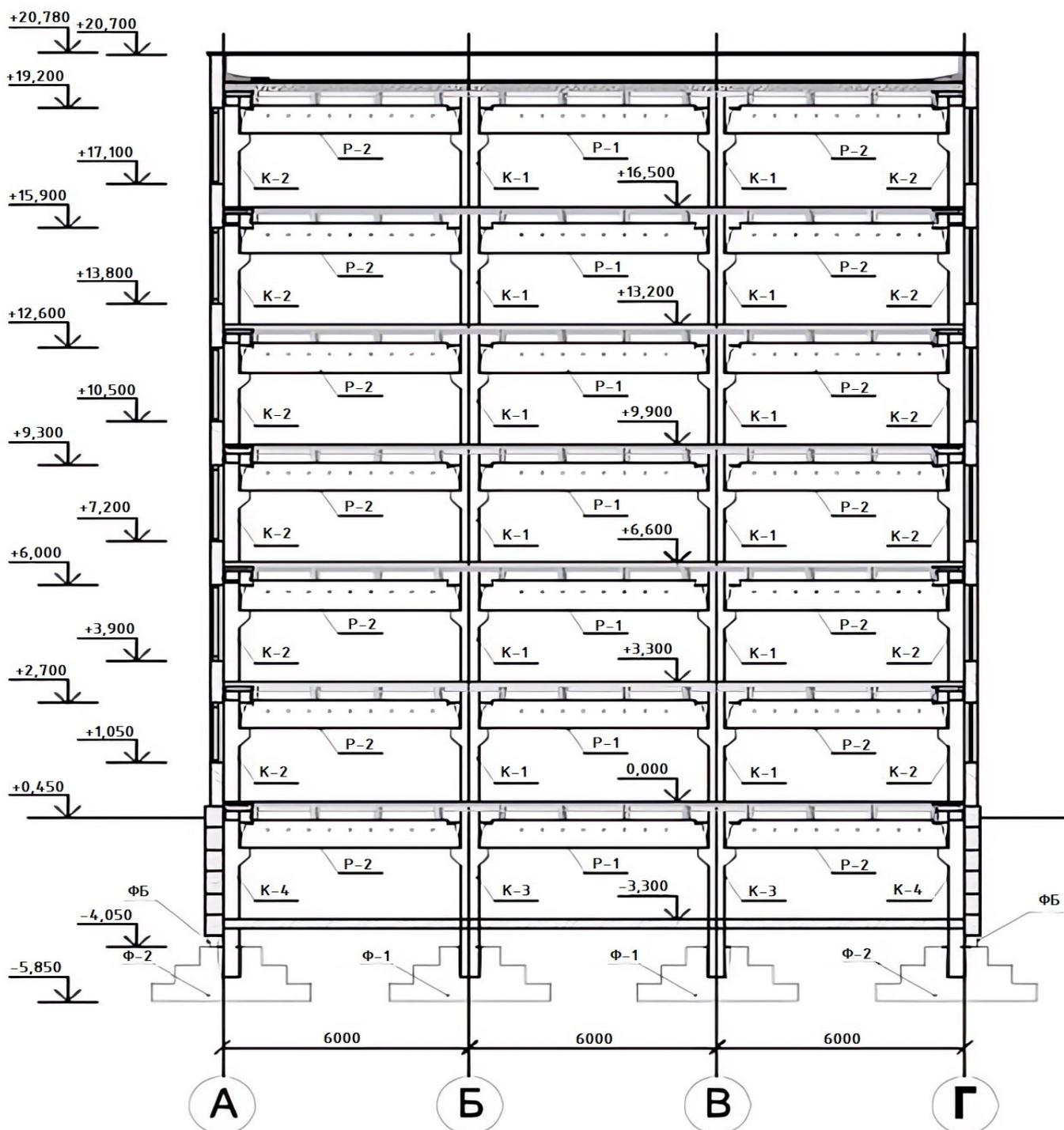


Рис. 3. Каркасная конструктивная система многоэтажного здания с применением сборных железобетонных колонн поэтажной разбивки
Fig. 3. Frame structural system of a multi-storey building with the use of precast reinforced concrete columns of floor-by-floor breakdown

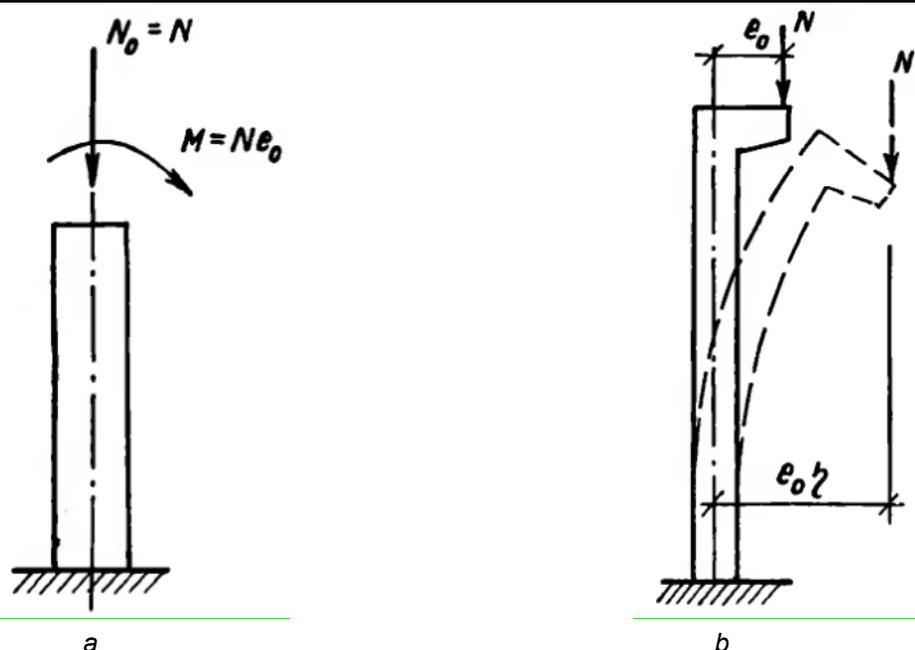


Рис. 4. Внецентренно сжатые колонны железобетонного каркаса:

a – на колонну действует продольная сила N , приложенная без эксцентриситета e_0 и изгибающий момент M ;

b – на колонну действует продольная сила N , приложенная с эксцентриситетом e_0

Fig. 4. Out-of-center compressed columns of a reinforced concrete frame:

a – a longitudinal force N applied without eccentricity e_0 and a bending moment M acts on the column;

b – a longitudinal force N applied with an eccentricity of e_0 acts on the column;

Примером внецентренно сжатого конструктивного элемента каркаса является расположение в конструктивной системе многоэтажного здания колонн проектных марок К-2 и К-4 (крайних рядов, по осям А, Г, см. рис. 3), воспринимающих дополнительную нагрузку от ветровых воздействий и собственного веса навесных самонесущих железобетонных стеновых панелей.

Внецентренная нагрузка на сжатые железобетонные конструктивные элементы каркаса может быть также следствием проявлений случайных эксцентриситетов, вызванных неточной установкой сборных элементов в проектное положение или неоднородностью бетонной смеси, укладываемой в конструкцию монолитной железобетонной колонны.

На рис. 5 приведены основные расчетные схемы определения параметров напряженно-деформированного состояния внецентренно сжатых конструктивных элементов прямоугольной формы поперечного сечения¹.

Вариант 1 (см. рис. 5, а). Приведена проектная ситуация с использованием внецентренно сжатой колонны (прямоугольного се-

чения) и продольной (сжимающей) нагрузкой N , которая приложена к рассматриваемому несущему элементу со значительным эксцентриситетом e_0 . При этом конструктивное решение (для случая значительной величины эксцентриситета) не предусматривает применения избыточного армирования сечения растянутой арматурой. Предельное состояние характеризуется достижением растянутой рабочей арматурой предела текучести стали.

Вариант 2 (см. рис. 5, б). Приведена проектная ситуация с использованием внецентренно сжатой колонны (прямоугольного сечения) и продольной (сжимающей) нагрузкой N , приложенной к рассматриваемому несущему элементу с незначительным эксцентриситетом e_0 . При этом конструктивное решение (для случая незначительной величины эксцентриситета) допускает применение избыточного армирования сечения растянутой арматурой. Предельное состояние характеризуется разрушением бетона сжатой зоны сечения без образования и развития участков растяжения.

¹Краснощеков Ю.В. Научные основы исследований взаимодействия элементов железобетонных конструкций: дисс. ... д-ра техн. наук. 05.23.01. Омск, 2001. С. 342.

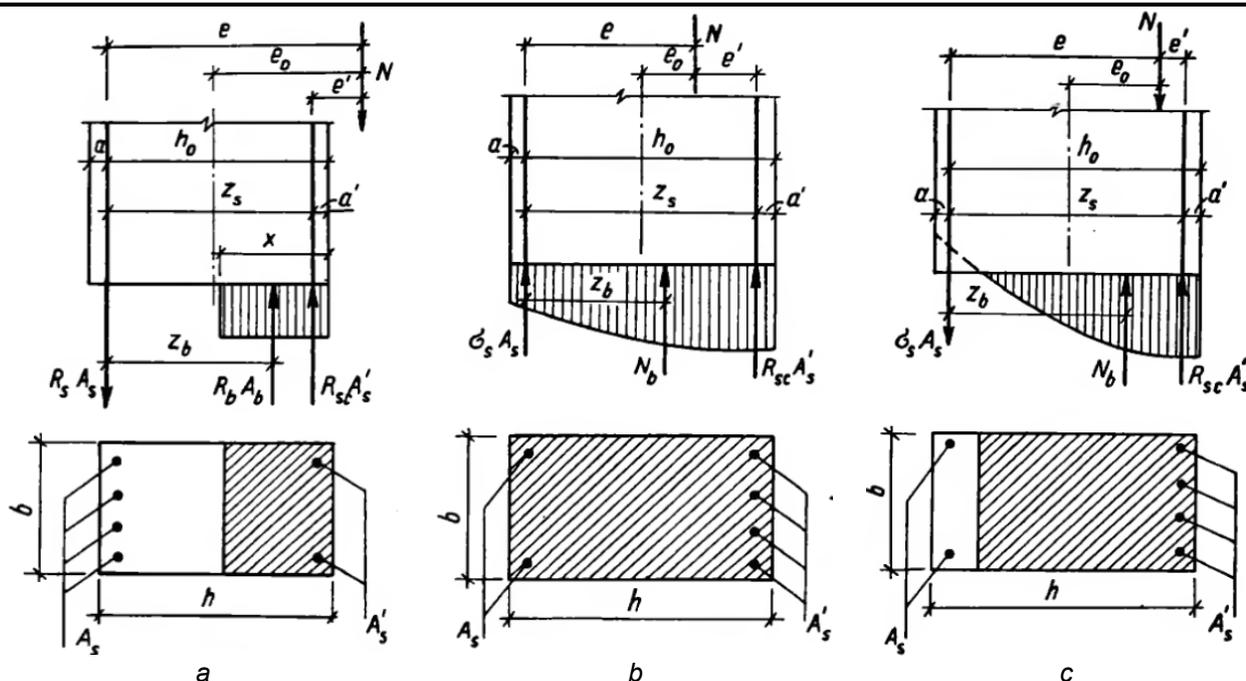


Рис. 5. Основные схемы расчета сечений внецентренно сжатых элементов прямоугольной (квадратной) формы

Fig. 5. Basic schemes for calculating cross sections of non-centrally compressed rectangular (square) elements

Вариант 3 (см. рис. 5, с). Приведена проектная ситуация с использованием внецентренно сжатой колонны (прямоугольного сечения) и продольной (сжимающей) нагрузкой N , приложенной с незначительным эксцентриситетом e_0 . При этом конструктивное решение (для случая малой величины эксцентриситета) допускает применение избыточного армирования сечения растянутой арматурой. Предельное состояние характеризуется разрушением бетона сжатой зоны сечения с одновременным образованием и развитием участков растяжения, а растянутая или менее сжатая арматура в достигнутом предельном состоянии остается недоиспользованной.

Таким образом, можно отметить, что прочность внецентренно сжатого конструктивного элемента для случаев больших эксцентриситетов является зависимой от состояния растянутой рабочей арматуры, а для случаев малых эксцентриситетов – от прочности бетона на сжатие² [10-12].

Распределение напряжений по высоте (длине) сжатого элемента

На рис. 6 представлены возможные варианты распределения напряжений по высоте железобетонного, внецентренно сжатого кон-

структивного элемента:

– на рис. 6, а представлена расчетная схема, когда по всей высоте железобетонного, внецентренно сжатого конструктивного элемента возникают исключительно сжимающие усилия, а растянутая зона полностью отсутствует;

– на рис. 6, б представлена расчетная схема, когда по высоте железобетонного, внецентренно сжатого конструктивного элемента возникают как сжимающие, так и растягивающие усилия;

– на рис. 6, с представлена расчетная схема, когда по высоте железобетонного, внецентренно сжатого конструктивного элемента имеются участки с растягивающими усилиями.

Первый из рассмотренных вариантов (см. рис. 6, а) распределения напряжений характерен для анализа центрально нагруженных железобетонных колонн или внецентренно нагруженных несущих элементов с малыми значениями эксцентриситета e_0 и/или небольшими значениями гибкости λ .

Второй из рассмотренных вариантов (см. рис. 6, б) распределения напряжений характерен для анализа внецентренно нагруженных несущих элементов с большими значениями эксцентриситета e_0 . В растянутых

²Мордовский С. С. Совершенствование расчета прочности внецентренно сжатых железобетонных элементов: дисс. ... д-ра техн. наук. 05.23.01. Казань, 2013. С. 214.

зонах возможно проявление и развитие трещин. В случае возникновения и роста трещин требуется дополнительная проверка несущей способности внецентренно сжатого элемента по прогибам.

Третий из рассмотренных вариантов (см. рис. 6, с) распределения напряжений ха-

рактерен для анализа внецентренно нагруженных несущих элементов, у которых эксцентриситет приложения внешнего продольного усилия расположен в крайней точке ядра приведенного поперечного сечения сжатого конструктивного элемента или весьма близко к ней со стороны центра тяжести [13].

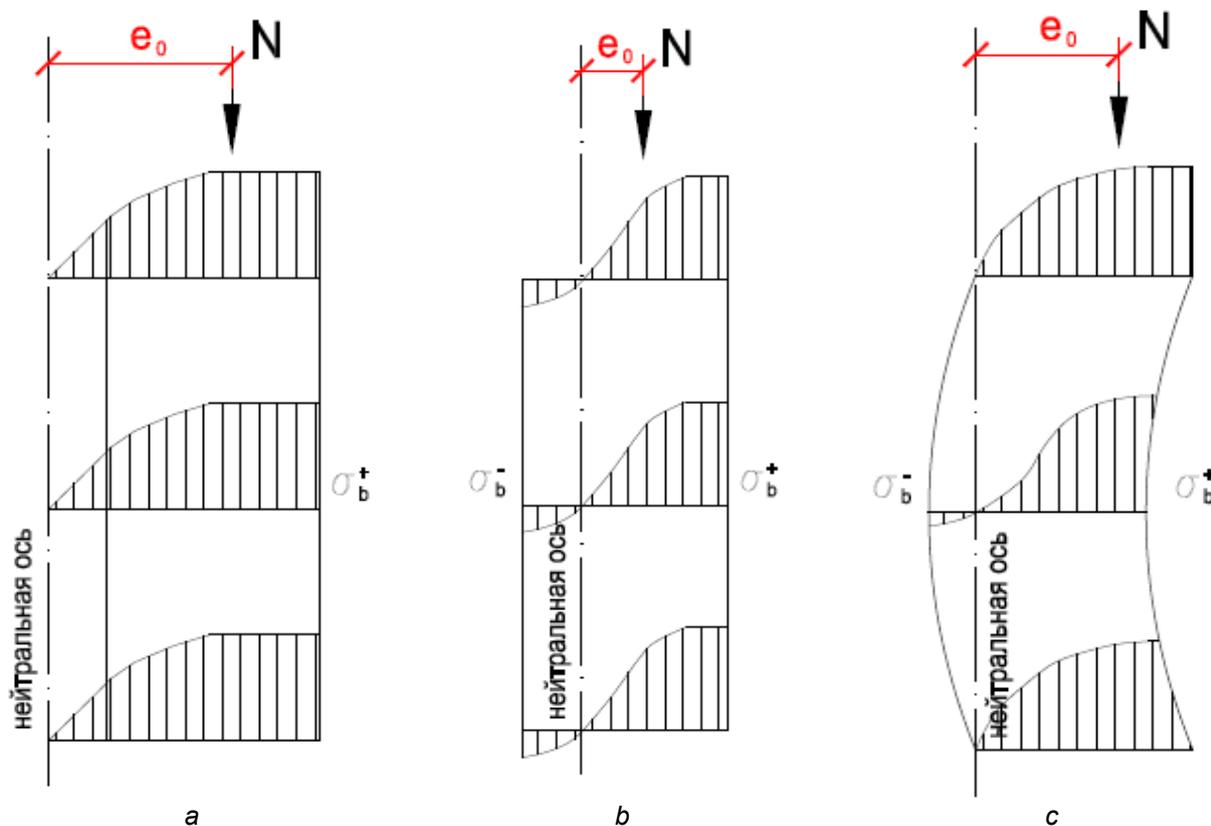


Рис. 6. Варианты распределения напряжений по высоте (длине) сжатого несущего элемента
Fig. 6. Variants of stress distribution along the height (length) of the compressed carrier element

ВЫВОДЫ

Предпосылки формирования эксцентриситетов отклонений осей вызванных неудовлетворительным качеством проектных решений и строительно-монтажных работ, неоднородностью бетонной смеси являются актуальными для разработки специального алгоритма экспертизы фактических парамет-

ров напряженно-деформированного состояния и разработки комплекса мероприятий, необходимых для повышения показателей несущей способности колонн каркасов многоэтажных зданий. Так как даже небольшой эксцентриситет ощутимо снижает несущую способность сжатого элемента.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кодыш Э.Н., Трекин Н.Н., Никитин И.К. Проектирование многоэтажных зданий с железобетонным каркасом: монография. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2009. 352 с.
2. Веретенников В.И., Бармотин А.А. О влиянии размеров и формы сечения элементов на диаграмму деформирования бетона при внецентренном сжатии // Бетон и железобетон. 2000. № 5. С. 27–30.
3. Залесов А.С., Чистяков Е.А., Ларичева И.Ю.

4. Деформационная расчетная модель железобетонных элементов при воздействии изгибающих моментов и продольных сил // Бетон и железобетон. 1996. № 5. С. 16–18.
4. Маилян Д.Р. Вопросы прочности, деформативности и трещиностойкости железобетона. Ростов н/Д.: РИСИ. 1979. С. 70–82.
5. Rings F. Reinforced Concrete, Theory and Practice (Classic Reprint). London: Forgotten Books, 2017. 248 p.

6. Danchenko T., Lastovka A., Amelchugov S., Klinduh N., Berseneva M. A variety of designs construction and mounting // *Innovative Technologies in Environmental Science and Education (ITESE-2019): E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 135. P. 02022.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913502022>.

7. Lastovka A., Danchenko T., Petukhova I., Polyakov I. Nanotechnologies in the Field of Concrete Production // *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2022. Vol. 510. P. 1573–1582.
https://doi.org/10.1007/978-3-031-11051-1_162.

8. Ластовка А.В., Данченко Т.В., Петухова И.Я., Поляков И.А.. Нанотехнологии в области производства бетона // *Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость*. 2022. Т. 12. № 3. С. 338–349.

9. Ластовка А.В. Проблематика проектирования железобетонных конструкций // *Восточно-европейский научный журнал*. 2019. № 48.

С. 55–60.

10. Галустов К.З. Решение задачи о перераспределении напряжений между арматурой и бетоном во времени // *Строительная механика и расчет сооружений*. 1985. № 6.

11. Никулин А.И., Аль-Хаваф А.Ф.К. О построении методики расчета прочности внецентренно сжатых с малыми эксцентриситетами железобетонных элементов // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2017. № 6. С. 48–53.

12. Ластовка А.В., Иванова А.В. Моделирование совместной работы арматуры с бетоном на примере композитной арматуры // *Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость*. 2022. Т. 12. № 2. С. 174–181.

13. Majewski T., Bobinski J., Tejchman J. FE analysis of failure behaviour of reinforced concrete columns under eccentric compression // *Engineering Structures*. 2008. Т. 30. № 2. С. 300–317.

REFERENCES

1. Kodysh E.N., Trekin N.N., Nikitin I.K. Design of multi-storey buildings with reinforced concrete frame. M.: Association of Construction Universities; 2009. 352 p. (In Russ.).

2. Veretennikov V.I., Barmotin A.A. On the influence of the size and shape of the cross-section of elements on the diagram of concrete deformation during off-center compression. *Beton i zhelezobeton*. 2000;5:27-30. (In Russ.).

3. Zalesov A.S., Chistyakov E.A., Laricheva I.Yu. Deformation calculation model of reinforced concrete elements under the influence of bending moments and longitudinal forces. *Beton i zhelezobeton*. 1996;5:16-18. (In Russ.).

4. Mailyan D.R. Issues of strength, deformability and crack resistance of reinforced concrete. Rostov on Don: RISi; 1979. p. 70-82. (In Russ.).

5. Rings F. Reinforced Concrete, Theory and Practice (Classic Reprint). London: Forgotten Books; 2017. 248 p.

6. Danchenko T., Lastovka A., Amelchugov S., Klinduh N., Berseneva M. A variety of designs construction and mounting. *Innovative Technologies in Environmental Science and Education (ITESE-2019): E3S Web of Conferences*. 2019;135:02022.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913502022>.

7. Lastovka A., Danchenko T., Petukhova I., Polyakov I. Nanotechnologies in the Field of Concrete Production. *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2022;510:1573-1582.

8. Lastovka A.V., Danchenko T.V., Petukhova I.Ya., Polyakov I.A. Nanotechnologies in concrete production. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo*.

Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate. 2022;12(3):338-349. (In Russ.).
<https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-3-338-349>.

https://doi.org/10.1007/978-3-031-11051-1_162.

9. Lastovka A.V. Problematics of designing reinforced concrete structures. *Vostochno-evropeiskii nauchnyi zhurnal = Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe = East European Scientific Journal*. 2019;48:55-60. (In Russ.).

10. Galustov K.Z. Solving the problem of stress redistribution between reinforcement and concrete in time. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenii*. 1985;6. (In Russ.).

11. Nikulin A.I., Al-Havaff A.F.K. About the formation of the strength calculation method of the eccentrically loaded reinforced concrete elements with small excentricity. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova = Bulletin of Belgorod state technological university named after V.G. Shukhov*. 2017;6:48-53. (In Russ.).

12. Lastovka A.V., Ivanova A.V. Simulation of combined action of reinforcement and concrete on the example of composite reinforcement. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(2):174-181. (In Russ.).
<https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-2-174-181>.

13. Majewski T., Bobinski J., Tejchman J. FE analysis of failure behaviour of reinforced concrete columns under eccentric compression. *Engineering Structures*. 2008;30(2):300-317.

Информация об авторах

Ластовка Анатолий Васильевич,
к.т.н., доцент, доцент кафедры
строительных конструкций и управляемых
систем,
Сибирский федеральный университет,
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79,
Россия,
e-mail: last_pro@mail.rumailto:office@sfu-kras.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0751-1631>

Мурзинцев Арсений Константинович,
магистрант,
Сибирский федеральный университет,
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79,
Россия,
e-mail: arseniimurzincev@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8378-7408>

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 21.11.2022.
Одобрена после рецензирования 15.12.2022.
Принята к публикации 19.12.2022.

Information about the authors

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

Arsenii K. Murzintcev,
Master Degree Student,
Siberian Federal University,
79 Svobodny Ave., 660041 Krasnoyarsk,
Russia,
e-mail: arseniimurzincev@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8378-7408>

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Conflict of interests

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

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

Information about the article

The article was submitted 21.11.2022.
Approved after reviewing 15.12.2022.
Accepted for publication 19.12.2022.



Методика оценки уровня компетентности эксперта в области сборно-монолитного домостроения

Ю.Д. Лысова^{1✉}, Л.И. Миронова², Н. И. Фомин³

^{1,2,3}Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
г. Екатеринбург, Россия

Аннотация. Технология сборно-монолитного домостроения развивалась и массово применялась в гражданском строительстве, начиная с 50-х гг. XIX в. В США, Европе и Азии независимо друг от друга к настоящему времени разработано несколько десятков сборно-монолитных каркасных систем. Основные конструктивные и технологические параметры зарубежных систем изучены достаточно глубоко. Отдельный интерес представляет оценка достоинств и недостатков данных систем для выявления параметров, обеспечивающих их технологическую живучесть, эффективность и применяемость конструктивной системы. Одним из способов реализации процедуры оценки является экспертиза сборно-монолитных каркасных систем комиссией экспертов, при формировании которой возникает методическая проблема отбора кандидатов. В статье предложена методика, позволяющая оценить уровень компетентности потенциального эксперта в области сборно-монолитного домостроения. Применение методики позволяет получить интегральную оценку уровня сформированности профессиональной компетенции эксперта в сочетании с оценкой уровня его личностных качеств. Предполагается, что комплексная оценка кандидата с точки зрения их включения в состав экспертной комиссии позволит выявить не только его профессиональный уровень, но также практическую способность гибко изменять точку зрения под влиянием новых фактов и аргументов, что позволит минимизировать вероятность получения несогласованных и недостоверных результатов экспертизы. Разработанная методика оценки компетентности эксперта может быть использована для анализа зарубежного опыта сборно-монолитного домостроения и выявления возможностей развития и совершенствования отечественных строительных технологий.

Ключевые слова: сборно-монолитное домостроение, эксперт, компетентность эксперта, качество эксперта, методы оценки, метод стандартизации рангов

Для цитирования: Лысова Ю.Д., Миронова Л.И., Фомин Н.И. Методика оценки уровня компетентности эксперта в области сборно-монолитного домостроения // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 1. С. 48–57. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-1-48-57>.

Original article

Methodology for assessing the competence level of experts in cast-in-place and precast construction

Yulia D. Lysova^{1✉}, Ludmila I. Mironova², Nikita I. Fomin³

^{1,2,3}Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin,
Ekaterinburg, Russia

Abstract. The technology of cast-in-place and precast construction has been developed and used extensively in civil engineering since the 1950s. Several dozen precast frame systems have been developed independently in the USA, Europe and Asia. The main design and technological parameters of foreign systems have been elaborated. A particular attention is paid to evaluation of the strong and weak points of these systems in order to identify the parameters that ensure their technological vitality, efficiency and usability of the structural system. One way of implementing the evaluation procedure is to

have the precast frame systems assessed by a panel of experts, which poses a methodological problem in terms of selecting candidates. The present paper suggests a methodology for assessing the competence level of a potential expert in cast-in-place and precast construction. The methodology provides an integral evaluation of the professional competence level of experts, as well as their personal qualities. A comprehensive assessment of candidates in terms of their inclusion in an expert panel is expected to reveal not only their professional level, but also their capacity for flexible thinking in response to new facts and reasoning, thus minimizing the likelihood of inconsistent and unreliable expert conclusions. The developed methodology for assessing the competence level of experts can be used to analyze foreign experience in cast-in-place and precast construction and to identify opportunities for the development of domestic construction technologies.

Keywords: prefabricated monolithic housing construction, expert, expert competence, expert quality, evaluation methods, method of rank standardization

For citation: Lysova Yu.D., Mironova L.I., Fomin N.I. Methodology for assessing the competence level of experts in cast-in-place and precast construction. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2023;13(1):48-57. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-1-48-57>.

ВВЕДЕНИЕ

Технология сборно-монолитного домостроения (СМД) является одним из наиболее распространенных методов возведения несущего каркаса зданий гражданского назначения. При реализации сборно-монолитной каркасной системы (СМКС) может быть предложено несколько вариантов как проектных решений несущего остова здания, так и технологических способов его возведения на строительной площадке. В связи с этим, начиная с 50-х гг. прошлого века, в мире было разработано несколько десятков СМКС [1–5].

В работах [6–9] представлены результаты анализа основных конструктивных и технологических параметров наиболее широко известных систем, разработанных в США, а также странах Европы и Азии. Дальнейшей целью исследования является определение преимуществ и недостатков каждой из рассмотренных систем, а также выявление параметров, обеспечивающих технологическую живучесть, эффективность и применимость конструктивной системы каждой из ранее рассмотренных СМКС.

Анализ научных публикаций по теме статьи, имеющихся в открытом доступе [10–13], показал, что наиболее эффективным способом осуществления сравнительного анализа параметров систем с возможностью получения достоверных и объективных результатов является проведение экспертных исследований по рассматриваемому вопросу. При этом, как отмечает часть авторов, основной методической проблемой формирования экспертной комиссии для проведения квалифицированной экспертизы является процесс подбора экспертов [14–17].

Таким образом, тематика статьи, связанная с отбором кандидатов в состав экспертной комиссии, способных адекватно оценить параметры СМКС, которые бы позволили прогнозировать их развитие и эффективное применение для совершенствования практики отечественного сборно-монолитного домостроения, является актуальной.

В статье предложена методика, позволяющая оценить уровень сформированности профессиональной компетентности эксперта в области сборно-монолитного домостроения. В методике реализуется два подхода, один из которых основан на объективном анализе документальных данных о потенциальном эксперте, второй – на самооценке личностных качеств эксперта [18–19].

МЕТОДЫ

Для проведения анализа документальных данных о потенциальном эксперте был использован анкетный опрос, для статистической обработки результатов которого использовался математический метод стандартизации рангов.

Уровень личностных характеристик эксперта оценивался по результатам самооценки экспертов также с использованием анкетного опроса и последующей статистической обработкой.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В основу метода положена гипотеза, что эксперт способен адекватно оценить рассматриваемый объект или процесс, если он обладает определенным уровнем профессиональной компетентности, в нашем случае в области сборно-монолитного домостроения, в сочетании с конкретным набором личностных характеристик.

Для того чтобы сформулировать критерии для оценки уровня сформированности компетентности эксперта в области сборно-монолитного строительства, необходимо определить показатели эксперта, характеризующие его теоретические знания и практические умения в исследуемой сфере.

К показателям, характеризующим теоретические знания и умения эксперта, отнесем уровень его образования, наличие научной степени и ученого звания, а также наличие и уровень публикаций, относящихся к теме технологии сборно-монолитного домостроения. К практическим умениям потенциального эксперта отнесем его должность, общий стаж работы, а также опыт работы непосредственно с СМКС. Данные показатели являются объективными показателями компетентности эксперта, так как их достоверность может быть подтверждена соответствующими документами. Для опреде-

ления критериев оценки уровня сформированности профессиональной компетентности эксперта применим известный математический метод стандартизации рангов [20].

Поместим перечисленные показатели в табл. 1 в виде характеристических признаков и укажем их возможные значения. Значения признаков расположим в порядке возрастания их значимости в характеристическом признаке. Назначим признакам ранги, начиная с 1 с шагом 1, и расположим их в правом крайнем столбце табл. 1. Выпишем назначенные ранги в табл. 2.

Согласно данным табл. 2, все характеристические признаки различаются между собой по оцениваемым значениям.

При этом число рангов равно числу оцениваемых признаков или, иными словами, оценка производится по шкале с числом делений равным числу признаков.

Таблица 1. Признаки, влияющие на объективную компетентность эксперта

Table 1. Characteristics affecting the expert's objective competence

	Характеристический признак	Значение признака	Ранг	
1	Образование	Неполное высшее инженерное	1	
		Высшее инженерное (Бакалавриат)	2	
		Высшее инженерное (Магистратура)	3	
		Повышение квалификации	4	
		Аспирантура	5	
		Докторантура	6	
2	Научная степень	Отсутствует	1	
		Кандидат технических наук	2	
		Доктор технических наук	3	
3	Ученое звание	Отсутствует	1	
		Доцент	2	
		Профессор	3	
4	Наличие публикаций в научных журналах по теме экспертной оценки	Отсутствует	1	
		РИНЦ, прочие журналы	2	
		ВАК, Scopus	3	
5	Должность	В сфере строительства		
		В сфере проектирования		
		Бригадир	Инженер-конструктор	1
		Мастер строительных работ	Инженер-конструктор I кат	2
		Производитель работ (Прораб)	Руководитель группы конструкторов	3
		Начальник строительного участка	Ведущий инженер-конструктор	4
6	Общий стаж работы	Главный технолог	Главный конструктор	5
		Стаж ≤ 5 лет		1
		6 ≤ стаж ≤ 10 лет		2
		11 ≤ стаж ≤ 15 лет		3
		16 ≤ стаж ≤ 20 лет		4
		21 ≤ стаж ≤ 25 лет		5
		26 ≤ стаж ≤ 30 лет		6
		31 ≤ стаж ≤ 40 лет		7
7	Опыт работы со сборно-монолитными каркасами	Стаж > 40 лет	8	
		Нет	1	
		Есть	2	

Таблица 2. Ранги признаков, влияющих на объективную компетентность эксперта
Table 2. Ranks by characteristics affecting the expert's objective competence

№	Назначенные ранги							
	1 (min)	2	3	4	5	6	7	8 (max)
1	1	2	3	4	5	6		
2	1	2	3					
3	1	2	3					
4	1	2	3					
5	1	2	3	4	5			
6	1	2	3	4	5	6	7	8
7	1	2						

В нашем случае все изучаемые характеристические признаки имеют разное количество значений, поэтому без специальной обработки сопоставление рангов невозможно, так как ранги фактически получены путем измерения с использованием шкал различной длины. Процедура приведения ранговых оценок к сопоставимому виду называется стандартизацией рангов и в нашем случае является процедурой простого равномерного растяжения более коротких шкал до требуемой длины [21]. Опишем процесс стандартизации рангов.

Для проведения стандартизации рангов выпишем данные в табл. 3, оставив внутренние клетки пустыми, а максимальные ранги поместим в правый крайний столбец. Строку, в которой содержится максимальное количество признаков, оставляем без изменения. Для пустых клеток табл. 3 стандартизацию

рангов проводим по следующему правилу: текущий ранг в строке равен разности между максимальным и минимальным рангом в строке, деленной на количество пустых клеток в строке. Для первой строки эта формула будет выглядеть так:

$$P1 = (6 - 1)/6 = 0,83,$$

где $P1$ – величина ранга, соответствующая промежуточным значениям в строке 1 (табл. 3).

Аналогичным образом проводим стандартизацию рангов по всем оставшимся клеткам табл. 3. Поскольку мы рассматриваем 7 характеристических признаков экспертов и минимальный ранг, присвоенный нами признаку, составляет 1, то минимально возможное количество набранных рангов по всем характеристическим признакам будет равно 7.

Таблица 3. Стандартизация рангов характеристических признаков
Table 3. Standardization of characteristic feature ranks

№	Назначенные ранги							
	1 (min)	2	3	4	5	6	7	8 (max)
1	1	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	6
2	1	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	3
3	1	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	3
4	1	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	3
5	1	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	5
6	1	2	3	4	5	6	7	8
7	1	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	2
Ср. значение	1	0,67	0,81	0,95	1,09	1,24	1,38	4,29

Проведенная стандартизация рангов позволяет нам сравнивать характеристические признаки между собой. Определим средние значения по каждому признаку и поместим их в последнюю строку табл. 3. Построим график изменения средних значений рангов по данным табл. 3 (рис. 1).

Анализ графика позволяет сделать вывод о том, что до определенного момента (до 4 ранга) средние значения меньше 1 (наименьшего из присвоенных рангов), причем в начале этого промежутка имеется тенденция на

уменьшение (до 2 ранга), а затем намечается тенденция на медленное возрастание, а после ранга 7 происходит резкий скачок вверх. Возьмем значения этих рангов в качестве пограничных для формулировки критериев компетентности эксперта. Пересчитаем значения пограничных точек в баллы, но сначала определим их процентное соотношение. Если максимальное значение ранга 8, то ранг 4 составляет 50%, ранг 7 – 87,5%, а ранг 2, соответственно, 25%. Теперь переведем полученные значения в баллы.

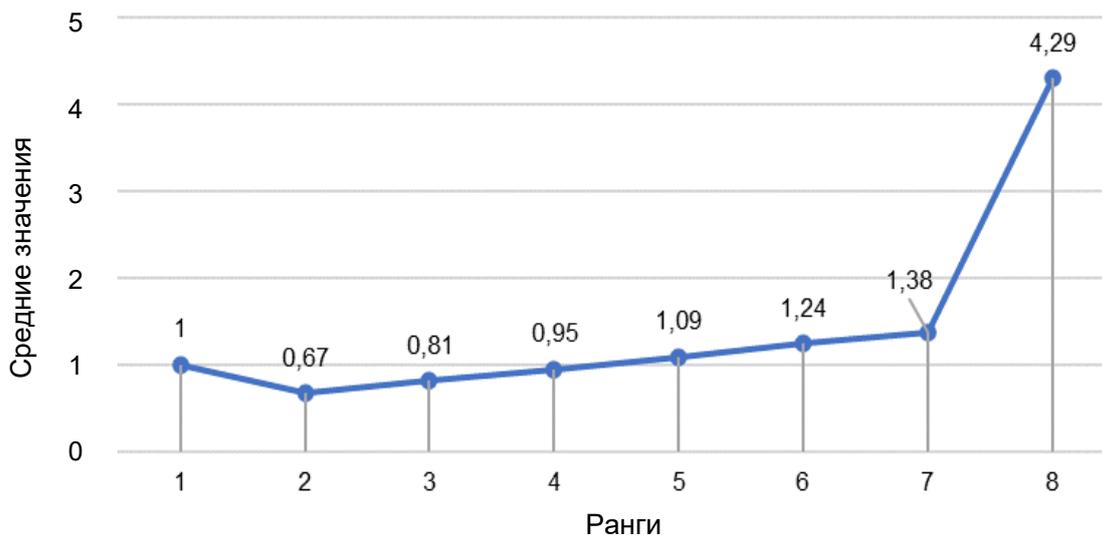


Рис. 1. График изменения средних значений рангов по данным табл. 3
Fig. 1. Diagram of changes in the average values of the ranks according to the table 3

Если максимальную сумму баллов (максимальных рангов по табл. 3) 30 взять за 100%, то 50% составит 15 баллов, 87,5% – 26 баллов, а 25%, соответственно, 7 баллов. Результаты произведенных расчетов представлены в табл. 4.

На основании данных табл. 4 можно составить таблицу критериев для оценки компетентности эксперта по объективным характеристическим признакам (табл. 5). При выборе кандидата в экспертную комиссию помимо оценки его компетентности с профессиональной стороны необходимо оценить уровень его личностных качеств.

Оценка личностных качеств позволит

определить готовность и открытость эксперта к анализу и синтезу изучаемых проблем, а также позволит спрогнозировать объективность предлагаемых им решений, избегая тем самым чрезмерного уклона в сторону оптимистических либо пессимистических ответов по психологическим мотивам [22]. В табл. 6 приведена анкета, заполняя которую эксперту необходимо самостоятельно оценить каждую из предложенных личностных характеристик, выбрав соответствующую его мнению степень проявления.

На основе данных табл. 6 можно сформулировать критерии для определения уровня личностных характеристик эксперта.

Таблица 4. Оценка объективных характеристик

Table 4. Evaluation of objective characteristics

Значения пограничных рангов	% значений пограничных рангов от общего количества рангов (8)	Сумма рангов, соответствующая пограничной точке (от суммы максимальных рангов 30)	Оценочный интервал в баллах
2	25	7	$1 \leq \sum \leq 7$
4	50	15	$8 \leq \sum \leq 15$
7	87,5	26	$16 \leq \sum \leq 26$

Таблица 5. Критерии для оценки компетентности эксперта по объективным признакам

Table 5. Criteria for evaluating the expert's competence on objective characteristics

№	Сумма рангов	Вывод об уровне компетентности эксперта
1	Сумма рангов ≤ 7	Компетентность низкая
2	Сумма рангов от 8 до 15	Компетентность ниже средней
3	Сумма рангов от 16 до 26	Компетентность средняя
4	Сумма рангов от 27 до 33	Компетентность выше средней
5	Сумма рангов ≥ 33	Компетентность высокая

Таблица 6. Анкета для оценки уровней личностной характеристики эксперта
Table 6. Form for evaluating the levels of expert's personal characteristics

Баллы	Оцениваемые характеристики	Уровень проявления		
		Высокий	Средний	Низкий
		3	2	1
№				
1	Наличие деловых качеств			
2	Уверенность в себе			
3	Наличие познавательных способностей			
4	Способность проявлять креативность			
5	Склонность к проявлению эвристичности			
6	Наличие интуиции			
7	Способность к предикаторности*			
8	Широкий кругозор			
9	Глубокая эрудиция в сфере СМД			
10	Открытость для общения			

*предикаторность – способность предсказывать, предчувствовать будущее состояние исследуемого объекта.

Определим значение критериев при суммировании баллов по степени проявления в первом приближении: 30 баллов (100%) – высокий уровень, 20 баллов (67%) – средний уровень, 10 баллов (33%) – низкий уровень. Однако стоит отметить, что анкеты с максимально низким или максимально высоким уровнем проявления личностных характеристик по результатам самооценки будем рассматривать как неприемлемые ввиду повышения риска получения недостоверной информации по исследуемой проблеме. Таким образом, будем считать, что объективно высокий уровень личностных характеристик возможен, если эксперт поставил средний балл степени проявления для минимум трех характеристик. Тогда верхнему порогу высокого уровня личностных характеристик будет соответствовать сумма в 27 баллов (90%), а нижний порог составит 24 балла (80%). Для равного процентного деления уровней личностных характеристик предлагаются следующие соотношения: низкий уровень – 12 баллов (40%) и ниже, средний – до 18 баллов (60%), высокий – 24 балла (80%) и выше. В табл. 7 представлены критерии для оценки уровней личностных характеристик эксперта.

Согласно выявленным критериям для оценки компетентности по объективным признакам (см. табл. 5), а также критериям для оценки уровней личностных характеристик эксперта (табл. 7), необходимо определить оптимальное сочетание профессиональной компетентности и психологической готовности кандидата работать в экспертной комиссии. Для этого необходимо свести полученные уровни профессиональной компетентности и личностных характеристик эксперта в табл. 8.

На основе данных табл. 8 можно сделать вывод о том, что кандидаты, обладающие 1–2 уровнями профессиональной компетентности или личностным показателям, не могут быть отобраны в экспертную группу, так как их оценки могут привести к несогласованному, а также недостоверному результату проведения экспертизы. Предполагается, что кандидаты, обладающие средним и выше среднего уровнями по обоим из оцениваемых показателей, имеют достаточную профессиональную компетентность в сочетании с достаточным уровнем личностных характеристик, позволяющую им быть объективными при проведении экспертизы.

Таблица 7. Критерии для оценки уровней личностных характеристик эксперта
Table 7. Criteria for evaluating the levels of expert's personal characteristics

№	Сумма баллов по анкете эксперта	% значений набранных баллов от общего количества	Вывод об уровне личностных характеристик эксперта
1	менее 12	≤ 40	Низкий
2	от 13 до 15	41-50	Ниже среднего
3	от 16 до 18	51-60	Средний
4	от 19 до 23	61-79	Выше среднего
5	от 24 до 27	80-90	Высокий

Таблица 8. Допустимые уровни компетентности эксперта по объективным и личностным характеристикам

Table 8. Acceptable expert's competence levels according to objective and personal characteristics

№	Допустимые уровни профессиональной компетентности эксперта	№	Допустимые уровни личностных характеристик эксперта
1	Низкий	1	Низкий
2	Ниже среднего	2	Ниже среднего
3	Средний	3	Средний
4	Выше среднего	4	Выше среднего
5	Высокий	5	Высокий

При этом такой уровень сформированности профессиональных и личностных характеристик обеспечивает способность потенциального эксперта изменить точку зрения под влиянием новых фактов и аргументов, а также способность перерабатывать, усваивать и формировать качественно новую научную информацию, что является важным фактором для получения достоверных результатов экспертной оценки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одним из объективных способов проведения сравнительного анализа сборно-монолитных каркасных систем с целью прогнозирования их технологической живучести, возможности развития и эффективности применения, является метод экспертной оценки. При этом важной задачей при ее получении является отбор кандидатов для формирования экспертной комиссии.

Для определения квалификации, уровня профессионализма, а также психологической

пригодности эксперта в области СМД предложена комбинированная методика оценки компетентности эксперта по объективным и личностным показателям. Согласно проведенному анализу показателей авторы рассчитывают на то, что отбор кандидатов, обладающих одновременно 3, 4 или 5 уровнем компетентности по двум анализируемым характеристикам одновременно, в качестве экспертов позволит достичь наиболее достоверного и объективного показателя результатов работы экспертной комиссии. При этом комбинации пар уровней 3, 4 и 5 на качество полученных результатов не повлияют.

В дальнейшем разработанная процедура оценки квалификации, профессиональной и психологической пригодности эксперта будет использована для анализа зарубежного опыта сборно-монолитного домостроения с целью выявления тенденций эффективного развития и совершенствования отечественных технологий в данной области строительства.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Shawkat S., Schlesinger R. Application of structural system in building design. Brno: Tribun EU, 2020. 499 p.
 2. Morcoux G., Henin E., Tadros M.K. Shallow precast concrete floor without beam ledges or column corbels // PCI Journal. 2019. Vol. 64. No. 4. P. 41–54. <https://doi.org/10.15554/pcij64.4-02>
 3. Ghayed H.H., Razak H.A., Sulong N.H.R. Performance of dowel beam -to-column connections for precast concrete systems seismic loads: A review // Construction and Building Materials. 2020. Vol. 237. P. 117582. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117582>.
 4. Nolic J. Building "with the Systems" vs. Building "in the System" of IMS Open Technology of Prefabricated Construction: Challenges for New "Infill" Industry for Massive Housing Retrofitting // Energies. 2020. Vol. 11. No. 5. P. 1128. <https://doi.org/10.3390/en11051128>.
 5. Демычев Я.С. Обзор сухих систем сборного строительства // Colloquim-Journal. 2020. № 32-1

(84). С. 23–27. <https://doi.org/10.24412/2520-2480-2020-3284-23-27>.
 6. Лысова Ю.Д., Фомин Н.И. Анализ применения сборно-монолитных каркасных систем на основе зарубежного опыта // Научно-методический электронный журнал «Концепт» [Электронный ресурс]. URL: <http://e-koncept.ru/2022/0.htm> (11.10.2022).
 7. Лысова Ю.Д., Фомин Н.И., Байбурин А.Х. Сравнительный анализ конструктивно-технологических параметров зарубежных сборно-монолитных систем гражданских зданий. Часть I // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Т. 22. № 2. С. 61-67. <https://doi.org/10.14529/build220208>.
 8. Лысова Ю.Д., Фомин Н.И., Байбурин А.Х. Сравнительный анализ конструктивно-технологических параметров зарубежных сборно-монолитных систем гражданских зданий. Часть II // Вестник Южно-Уральского государственного

университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Т. 22. № 3. С. 53–60. <https://doi.org/10.14529/build220306>.

9. Лысова Ю.Д., Фомин Н.И., Сяо Ш., Скуй В. Конструктивно-технологические решения сборно-монолитных систем в странах Восточной Азии // Инженерный вестник Дона. 2022. № 10. С. 283–300. [Электронный ресурс]. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n10y2022/7910 (22.10.2022).

10. Ahmed I.M., Tsavdaridis K.D. The evolution of composite flooring systems: application, testing, modelling and eurocode design approach // Journal of Constructional Steel Research. 2019. Vol. 155. P. 286–300. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2019.01.007>.

11. Navaratnam S., Ngo T., Gunawardena Th., Henderson D. Performance Review of Prefabricated Building Systems and Future Research in Australia // Buildings Journal. 2019. No. 9. P. 8–14. <https://doi.org/10.3390/buildings9020038>.

12. Agrawal A., Sanghai S. S., Dabhekar K. A Review on Analysis and Design of Precast Structures // International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology. 2021. Vol. 8. No. 2. P. 345–350. <https://doi.org/10.32628/IJSRSET218267>.

13. Pessiki S., Prior R., Sause R., Slaughter S. Review of Existing Precast Concrete Gravity Load Floor Framing Systems // PCI Journal. 1995. Vol. 40. No. 2. P. 52–68. <https://doi.org/10.15554/pci.03011995.52.68>.

14. Фомин Н.И., Исаев А.П., Зотеева Е.Э., Инновационный потенциал сборно-монолитных систем гражданских зданий // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2016. № 4. С. 66–71.

15. Pessiki S., Prior R., Sause R., Slaughter S., van Zyverden W. Assessment of Existing Precast Concrete Gravity Load Floor Framing Systems // PCI Journal. 1995. Vol. 40. No. 2. P. 70–83. <https://doi.org/10.15554/pci.03011995.70.83>.

16. Ahmed I.M., Tsavdaridis K.D. Life Cycle Assessment (LCA) Study of European Lightweight Composite Flooring Systems // Journal of Building Engineering. 2018. Vol. 20. P. 624–633. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.09.013>.

17. Ситков Р.А., Щельников В.Н., Петрушин И.Е. Методика проведения экспертного опроса по оцениванию свойств и факторов, влияющих на качество и компетентность экспертов // Фундаментальные исследования. 2016. N 11-5. С. 944–948.

18. Марычева П.Г. Методика оценки компетентности экспертов // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2018. N 4 (60). С. 29–40.

19. Зырянова Е.В. Об оценке квалификации и профессиональной пригодности эксперта по экологической экспертизе // Технологии техносферной безопасности. 2016. N 3 (67). С. 237–245.

20. Миронова Л.И. Экспертиза в педагогических исследованиях: монография. Германия: LAP Lambert Academic Publ., 2011. 97 с.

21. Mironova L.I., Zhartayev E.M., Alekhin V.N. Mathematical model for determination of formation professional competence level of bachelors in the field of a construction. *Russian Journal of Construction Science and Technology*. 2017. Vol. 3. No. 2. P. 48–65. <https://doi.org/10.15826/rjct.2017.2.006>.

22. Масленников Е.В. Особенности отбора экспертов // Социология. 2010. N 2. С. 82–93.

REFERENCES

1. Shawkat S., Schlesinger R. Application of structural system in building design. Brno: Tribun EU; 2020. 499 p.

2. Morcous G., Henin E., Tadros M. K. Shallow precast concrete floor without beam ledges or column cor-bels. *PCI Journal*. 2019;64(4):41-54. <https://doi.org/10.15554/pci.03011995.41-54>.

3. Ghayed H. H., Razak H. A., Sulong N. H. R. Performance of dowel beam -to-column connections for precast concrete systems seismic loads: A review. *Construction and Building Materials*. 2020;237:117582. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117582>.

4. Nolic J. Building "with the Systems" vs. Building "in the System" of IMS Open Technology of Prefabricated Construction: Challenges for New "Infill" Industry for Massive Housing Retrofitting. *Energies*. 2020;11(5):1128. <https://doi.org/10.3390/en11051128>.

5. Demichev Y.S. Overview of dry prefabricated building systems. *Colloquim-Journal*. 2020;32-1:23-27. (In Russ.).

6. Lysova Yu.D., Fomin N.I. Application analysis of precast-monolithic frame systems based on foreign experience. *Nauchno-metodicheskij jelektronnyj zhurnal «Koncept»*. Available from: <http://e-koncept.ru/2022/0.htm> [11th October 2022]. (In Russ.).

7. Lysova Yu.D., Fomin N.I., Baiburin A.Kh. Comparative analysis of the design and technological parameters of the foreign precast-monolithic systems of civil buildings. Part I. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura = Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction engineering and architecture*. 2022;22(2):61-67. (In Russ.). <https://doi.org/10.14529/build220208>.

8. Lysova Yu.D., Fomin N.I., Baiburin A.Kh. Comparative analysis of the design and technological parameters of the foreign precast-monolithic systems of civil buildings. Part II. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura = Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction engineering and architecture*.

- 2022;22(3):53-60. (In Russ.).
<https://doi.org/10.14529/build220306>.
9. Lysova Yu.D., Fomin N.I., Siao Sh., Siui V. Structural and technological solutions for prefabricated-monolithic systems in East Asia. *Inzhenernyj vestnik Dona: setevoe izdanie*. 2022;10:283-300. ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2022/7910 [Accessed 22th October 2022]. (In Russ.).
10. Ahmed I.M., Tsavdaridis K.D. The evolution of composite flooring systems: application, testing, modelling and eurocode design approach. *Journal of Constructional Steel Research*. 2019;155:286-300. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2019.01.007>.
11. Navaratnam S., Ngo T., Gunawardena Th., Henderson D. Performance Review of Prefabricated Building Systems and Future Research in Australia. *Buildings Journal*. 2019;9:8-14. <https://doi.org/10.3390/buildings9020038>.
12. Agrawal A., Sanghai S.S., Dabhekar K. A Review on Analysis and Design of Precast Structures. *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology*. 2021;8(2):345-350. <https://doi.org/10.32628/IJSRSET218267>.
13. Pessiki S., Prior R., Sause R., Slaughter S. Review of Existing Precast Concrete Gravity Load Floor Framing Systems. *PCI Journal*. 1995;40(2):52-68. <https://doi.org/10.15554/pcij.03011995.52.68>.
14. Fomin N.I., Isaev A.P., Zoteeva E.E. Innovative potential of precast and cast-in-situ civil building systems. *Akademicheskij vestnik UralNIIProekt RAASN*. 2016;4:66-71. (In Russ.).
15. Pessiki S., Prior R., Richard Sause, Sarah Slaughter, and Willem van Zyverden. Assessment of Existing Precast Concrete Gravity Load Floor Framing Systems. *PCI Journal*. 1995;40(2):70-83. <https://doi.org/10.15554/pcij.03011995.70.83>.
16. Ahmed I.M., Tsavdaridis K.D. Life Cycle Assessment (LCA) Study of European Lightweight Composite Flooring Systems. *Journal of Building Engineering*. 2018;20:624-633. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.09.013>.
17. Sitkov R.A., Schelnikov V.N., Petrushin I.E. The methodology of the expert survey on the evaluation of the properties and factors that effect the quality and competence of the experts. *Fundamental'nye issledovaniya = Fundamental research*. 2016;11-5:944-948. (In Russ.).
18. Marycheva P. The method of assessment the competence of experts. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Tekhnicheskie nauki = Bulletin of Samara State Technical University. Series: Technical Sciences*. 2018;4(60):29-40. (In Russ.).
19. Zyryanova E.V. Assessment of qualification and professional competence of the expert in the field of environmental expertise. *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti = Technologies of technosphere safety*. 2016;3:237-245. (In Russ.).
20. Mironova Lyu.I. Expertise in pedagogical research. Russ. Ed. Germany: LAP Lambert Academic Publ., 2011. 97 p. (In Russ.).
21. Mironova L.I., Zhartayev E.M., Alekhin V.N. Mathematical model for determination of formation professional competence level of bachelors in the field of a construction. *Russian Journal of Construction Science and Technology*. 2017;3(2):48-65. <https://doi.org/10.15826/rjct.2017.2.006>. (In Russ.).
22. Maslennikov E.V. Features of selection of experts. *Sociologiya = Sociology*. 2010;2:82-93. (In Russ.).

Информация об авторах**Information about the authors****Лысова Юлия Дмитриевна,**

аспирант, ассистент кафедры промышленного, гражданского строительства и экспертизы недвижимости, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 17, Россия, e-mail: lysova_yulia@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6726-3564>

Yulia D. Lysova,

Postgraduate student, Assistant of the Department of Industrial and Civil Construction and Estate Expertise, Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin, 17 Mira St., Ekaterinburg 620002, Russia, e-mail: lysova_yulia@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6726-3564>

Миронова Людмила Ивановна,

доктор педагогических наук, кандидат технических наук, доцент, действительный член Академии информатизации образования, профессор кафедры промышленного, гражданского строительства и экспертизы недвижимости, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 17, Россия, e-mail: mironovali@urfu.ru <https://orcid.org/0000-0002-3675-6008>

Ludmila I. Mironova,

Dr. Sci (Ped.), Cand. Sci (Eng.), Associate Professor, Member of the Academy of Education Informatization, Professor of the Department of Industrial and Civil Engineering and Estate Expertise, Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin, 17 Mira St., Ekaterinburg 620002, Russia, e-mail: mironovali@urfu.ru <https://orcid.org/0000-0002-3675-6008>

Фомин Никита Игоревич,
кандидат технических наук, доцент,
директор Института строительства
и архитектуры, заведующий кафедрой
промышленного, гражданского строительства
и экспертизы недвижимости,
Уральский федеральный университет имени
первого президента России Б. Н. Ельцина,
620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 17, Россия,
e-mail: ni.fomin@urfu.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-7095-7161>

Вклад авторов

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончатель-
ный вариант рукописи.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 10.11.2022.
Одобрена после рецензирования 05.12.2022.
Принята к публикации 07.12.2022.

Nikita I. Fomin,
Cand. Sci (Eng.), Associate Professor,
Head of the Institute of Civil
Engineering and Architecture,
Head of the Department of Industrial
and Civil Engineering and Estate Expertise,
Ural Federal University named after
the First President of Russia B. N. Yeltsin,
17 Mira St., Ekaterinburg 620002, Russia,
e-mail: ni.fomin@urfu.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7095-7161>

Contribution of the authors

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

Conflict of interests

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

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

Information about the article

The article was submitted 10.11.2022.
Approved after reviewing 05.12.2022.
Accepted for publication 07.12.2022.



Цементы низкой водопотребности как альтернативный вид применяемой в товарном бетоне вяжущей смеси

С.В. Макаренко

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

Аннотация. В статье приводится сравнение портландцемента с цементом низкой водопотребности. Цель исследования – оценка возможного снижения стоимости вяжущей смеси и, как следствие, товарного бетона на ее основе с возможным совмещением улучшения физико-механических характеристик и их обеспечения за наиболее короткий временной интервал. Это, несомненно, является актуальным показателем, особенно при строительстве в зимний период, поскольку кинетика набора прочности бетона является одним из ключевых показателей, лимитирующих темпы строительного производства. В основе исследования лежит оценка возможности введения в его состав техногенных отходов и местного минерального сырья, и эффективно подобранной строительной химии на основе поликарбоксилатов. Разномарочные цементы низкой водопотребности получали совместным помолом портландцемента и кремнеземистого или карбонатного наполнителя в присутствии требуемой дозировки суперпластификатора и в зависимости от вида исследуемого цемента низкой водопотребности. По результатам исследования оценена эффективность получения цементов низкой водопотребности карбонатного и кремнеземистого типа. Рассмотрены следующие показатели: кинетика набора прочности, нормальная плотность цементного теста различных составов, установлено оптимальное значение удельной поверхности составляющих цементом низкой водопотребности. Проведено исследование зависимости прочности бетона на основе цемента низкой водопотребности разных марок. Сделаны выводы, позволяющие оценить эффективность применения разрабатываемых вяжущих смесей.

Ключевые слова: цемент, суперпластификатор, цементы низкой водопотребности, золошлаковая смесь, карбонаты, композиционные цементы

Для цитирования: Макаренко С.В. Цементы низкой водопотребности как альтернативный вид применяемой в товарном бетоне вяжущей смеси // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 1. С. 58–63. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-1-58-63>.

Original article

Cements with low water demand as an alternative type of binding mixture used in ready-mixed concrete

Sergey V. Makarenko

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. The paper compares Portland cement and cement with low water demand. The aim of the study was to estimate the possibility of reducing the cost of a binder and the cost of the resulting ready-mixed concrete, along with achieving its improved physical and mechanical properties over a short time frame. This is undoubtedly a relevant indicator, especially in winter construction, since the kinetics of concrete strength gain is one of the key factors limiting the pace of construction. The study assesses the feasibility of introducing technogenic waste and local minerals into concrete composition, as well as effectively selected structural chemistry based on polycarboxylates. Cements with low water demand of various grades were produced by grinding Portland cement and silica or carbonate filler, in the presence of the required dosage of superplasticizer and depending on the type of cement with low water demand under investigation. Based on the results of the study, the efficiency of obtaining cements with low water demand of carbonate and silica type was estimated. Kinetics of strength gain and normal

density of cement-water paste of various compositions were considered. Optimal value of the specific surface area of the cement with low water demand was established. The strength dependencies of the concrete produced on the basis of low water demand cement of different grades were analyzed. The conclusions enable the effectiveness of using the binders under development to be assessed.

Keywords: cement, superplasticizer, cements of low water demand, ash-slag mixture, carbonates, composite cements

For citation: Makarenko S.V. Cements with low water demand as an alternative type of binding mixture used in ready-mixed concrete. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2023;13(1):58-63. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-1-58-63>.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальностью исследования является смена производства в сторону малозатратных, малоотходных «зеленых» технологий [1], базирующихся на циркулярной экономике и обеспечении строительной отрасли эффективными минеральными вяжущими смесями [2–4]. Цементная промышленность в мире является достаточно значимым сектором производства в части выбросов CO₂ в атмосферу – на ее долю приходится около 8% [5]. В развитых странах ограничивают возможность увеличения мощности заводов по производству цемента, а его дефицит при растущих темпах строительства исключают путем разбавления клинкерной составляющей техногенными отходами и минеральным сырьем [6]. На территории РФ, в частности в Иркутской области накоплено колоссальное количество техногенных отходов, объемы которых продолжают расти и сейчас, поскольку предприятия их образующие в своем большинстве действуют, не снижая темпов производства. В частности, к таким отходам относятся золошлаковые смеси ТЭС. В случае эффективного подхода к их переработке, они могут с успехом применяться при производстве строительных материалов, что повлечет за собой их крупнотоннажную утилизацию [7]. При этом открывается возможность минимизировать клинкероёмкость в цементных бетонах за счет вхождения их в состав композиционной вяжущей смеси [1, 8, 9].

На сегодняшний день наиболее эффективными композиционными вяжущими, отвечающими требованию зеленой технологии, являются цементы низкой водопотребности (ЦНВ) [10–12]. ЦНВ получают по безобжиговой технологии путем совместного или последовательно-раздельного измельчения портландцемента, минерального наполнителя (известняк, кварцевый песок, шлак, зола-уноса и др.) и суперпластификатора [13–15].

Цементы низкой водопотребности (ЦНВ) – новое эффективное вяжущее на основе порт-

ландцементного клинкера, обладающее минимальной водопотребностью среди существующих в настоящее время минеральных вяжущих. Ко всему прочему, отличительной особенностью ЦНВ является ее удельная поверхность (4000–7000 см²/г) при сравнении с портландцементом [10, 16, 17]. Основной целью исследований являлась оценка возможности применения ЦНВ разных марок и составов при производстве товарного бетона.

МЕТОДЫ

Характеристика типа ЦНВ и компонентов, используемых при проведении исследований.

1. ЦНВ карбонатного типа. Марка ЦНВ 50 (50% портландцемент/50% карбонатная порода).

2. Портландцемент – Цем I 42,5 (Ангарский цементный завод).

3. Карбонатная порода – доломит Холмушенского месторождения. Данный минерал из класса карбонатов химического состава CaCO₃•MgCO₃. К доломитам, как правило, относят осадочную карбонатную горную породу, состоящую из минерала доломита на 95% и более: CaO – 30,4%, MgO – 21,7%, CO₂ – 47,9%. Содержание CaO и MgO часто колеблется в небольших пределах. При измельчении доломита используют щековую дробилку, шаровую мельницу и, в конечном итоге, для достижения высокой удельной поверхности – вибрационную мельницу.

4. Пластифицирующая добавка – суперпластификатор «Sika VC 225» (0,4%). Осуществляется раздельный помол цемента с пластификатором и карбонатной добавки с пластификатором.

5. ЦНВ кремнеземистого типа марки ЦНВ-50 (50% портландцемент / 50% кремнеземистая активная минеральная добавка).

6. Портландцемент Цем I 42,5 (Ангарский цементный завод).

7. ЗШС ТЭЦ-10.

8. Пластифицирующая добавка – суперпластификатор «Tolstoplast» (0,4%).

Осуществляется отдельный помол цемента с пластификатором и кремнеземистой добавки с пластификатором. В работе выполнена оценка эффективности ЦНВ в сравнении с рядовым портландцементом на ранних стадиях твердения.

Проведена оценка прочности образцов кубов 20×20×20мм на сжатие при нормальных условиях твердения на 1, 3 и 7 сут. портландцемента ЦЕМ I 42,5Н (ГОСТ31108-2020)¹, ЦНВ с золой и пластификатором «Tolstoplast»

(0,4%) при отдельном помоле, ЦНВ с доломитом и пластификатором «Sika VC 225» (0,4%) при отдельном помоле. Проведено сравнение прочности бетона с использованием портландцемента ЦЕМ I 42,5Н, а также трех марок кремнеземистого – ЦНВ-50, ЦНВ-70, ЦНВ-90. В качестве компонентов ЦНВ использовали золу отвала ТЭС, поликарбоксилатный суперпластификатор «Tolstoplast» 0,4% и портландцемент ангарского завода ЦЕМ I 42,5Н (ГОСТ31108-2020)¹.

Таблица 1. Некоторые сравнительные физико-механические характеристики цементов низкой водопотребности и портландцемента

Table 1. Some comparative physical and mechanical characteristics of cements of low water demand and Portland cement

Вяжущее	S уд., см ² /г	НГ, %	Возраст цементного камня, сут.	Прочность, R, на сжатие МПа
ЦЕМ I 42,5	3200	29,0%	1	15,6
			3	44,1
			7	70
Кремнеземистое ЦНВ-50 (+0,4% Tolstoplast), отдельный помол	6000	25,0%	1	38
			3	57
			7	71
Карбонатное ЦНВ-50 (+0,4%Sika), отдельный помол	6000	21,25%	1	22,9
			3	54,4
			7	58,8

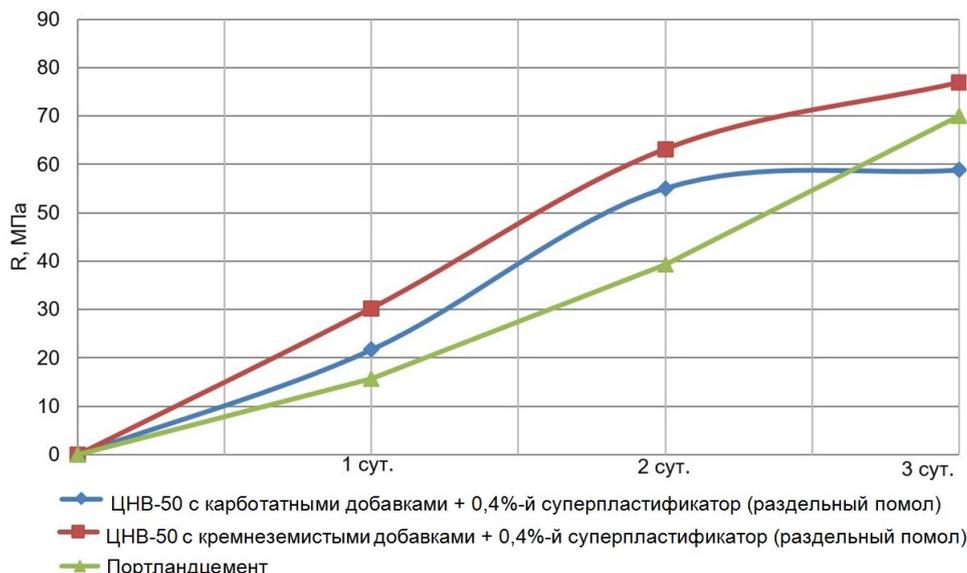


Рис. 1. Кривая изменения прочности на сжатие образцов кубов теста нормальной плотности 20×20×20 мм от времени твердения
Fig. 1. Curve of change in compressive strength of test cubes of normal density 20×20×20 mm from the hardening time

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате полученных данных, представленных в табл. 1 и на рис. 1, установлено,

что ЦНВ с кремнеземистыми, а также с карбонатными составами наиболее активно набирают прочность в 1 и 3 сут. твердения в срав-

¹ГОСТ31108-2020 Цементы общестроительные. Технические условия. Введ. 01.03.2021 // Kodeks.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200174658> (27.10.2022).

нении с рядовым портландцементом, что очень важно в условиях зимнего бетонирования. Это позволяет снизить затраты на противоморозные добавки, длительный и достаточно затратный электропрогрев бетонной смеси за счет быстрого набора критической прочности. Из этого следует возможность получения дешевого и экологичного вяжущего, которое может использоваться при производстве всех видов товарного бетона и изделий из сборного железобетона, а также как основной компо-

нент сухих строительных смесей. Состав бетона на ЦНВ-50 (табл. 2) показывает более высокую прочность в сравнении с бетоном аналогичного состава на портландцементе. Составы бетонов на ЦНВ-70 и ЦНВ-90 в значительной степени превосходят бетоны на традиционном портландцементе (рис. 2), что дает полное основание для беспрепятственного применения ЦНВ-50 и возможно ЦНВ-40 в товарном бетоне без снижения требуемых физико-механических характеристик.

Таблица 2. Расход компонентов на один м³ бетонной смеси и некоторые физико-механические характеристики

Table 2. Consumption of components one m³ of concrete mix and some physical and mechanical characteristics

№ состава	Вид вяжущей смеси	Расход материалов, кг/м ³					Свойства тяжелых бетонов			Класс бетона		
		Цемент	Песок M _{кр} =2,6	Щебень (Др1200)	Вода	Поликарбонатный СП от массы цемента, %	Плотность бетонной смеси, кг/м ³	Марка по подвижности	Прочность на сжатие при нормальном твердении в возрасте, МПа			
									1		3	28
1	ЦЕМ I 42,5	400	720	1110	160	0,4	2380	П5	20	32	53	B40
2	ЦНВ-50		800	1090	130	-	2400		30	45	62	B45
3	ЦНВ-70		790	1120	130	-	2430		45	65	90	B65
4	ЦНВ-90		780	1150	135	-	2460		51	76	100	B75

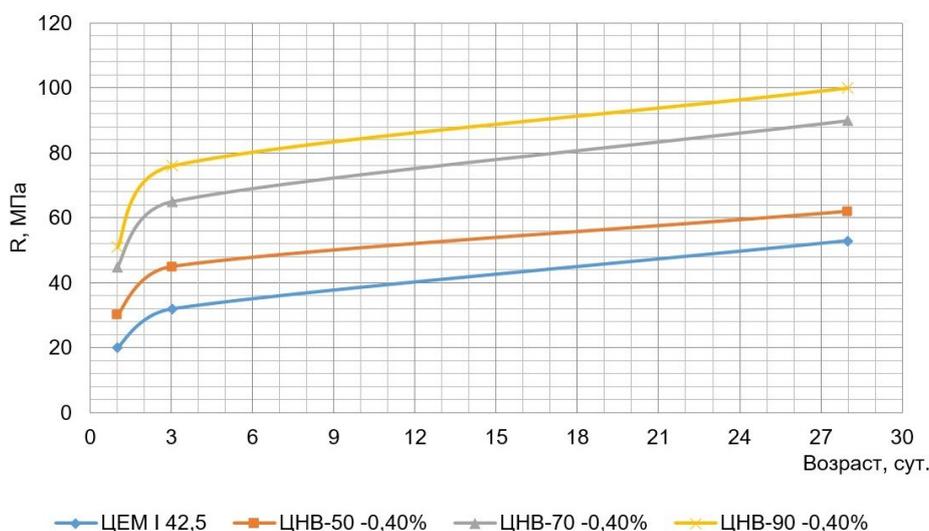


Рис. 2. Зависимость прочности бетона на исследуемых видах, вяжущих от времени твердения
Fig. 2. The dependence of the strength of concrete on the studied types of binders on the hardening time

ВЫВОДЫ

Результаты проведенных исследований позволяют сделать обоснованный вывод о несомненной научно-практической перспективе проведения дальнейших исследований в данном направлении. В случае практической реализации применения ЦНВ в массовом производстве товарного бетона и железобетона решаются задачи, направленные как на

получения бетонов высокого качества и значительно меньшей себестоимости производства, так и внедрение зеленых производственных технологий замкнутого цикла, что на сегодняшний день является весьма актуальной задачей исходя из научно технологического развития и стратегии развития промышленности строительных материалов как для федерального, так и для регионального уровня РФ.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Баженов Ю.М., Демьянов В.С., Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. 368 с.
2. Кунн К. CEMBUREAU – цементный и энергетический рынок в Европе и мире // Цемент и его применение. 2013. № 3. С. 22–33.
3. Рикерт Й., Мюллер К. Эффективные композитные цементы – вклад в сокращение выбросов CO₂ // Alitinform: Цемент. Бетон. Сухие смеси. 2011. № 2 (19). С. 28–49.
4. Карпенко Н.И., Ярмаковский В.Н. Основные направления ресурсосбережения в строительстве и эксплуатации зданий. Часть 1 // Строительные материалы. 1997. № 7. С. 12–21.
5. Чомаева М.Н. Экологические проблемы воздействия химической промышленности на окружающую среду (на примере цементного производства) // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2016. № 2-1 (14). С. 141–143.
6. Скороход М.А. Состояние и повышение конкурентоспособности цементного рынка Евразийского экономического союза (ЕАЭС) // Cemros.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://cemros.ru/engine/documents/document12920> (27.10.2022).
7. Хозин В.Г., Хохряков О.В., Битуев А.В., Урханова Л.А. Эффективность применения золы-уноса Гусиноозерской ГРЭС в составе цементов низкой водопотребности // Строительные материалы. 2011. № 7. С. 76–78.
8. Okamura H., Ouchi M. Self-Compacting concrete // Journal of Advanced Concrete Technology. 2003. Vol. 1. No. 1. P. 5–15. <https://doi.org/10.3151/jact.1.5>.
9. Feys D., Verhoeven R., Schutter G. Fresh self compacting concrete, a shear thickening material // Cement and Concrete Research. 2008. Vol. 38. No. 7. P. 920–929.
10. Юдович Б.Э., Дмитриев А.М., Зубехин С.А. Цементы низкой водопотребности – вяжущие нового поколения // Цемент и его применение. 1997. № 1. С. 15–18.
11. Крикунов О.К., Башлыков Н.Ф. Эффективность вяжущих низкой водопотребности и бетонов на их основе // Бетон и железобетон. 1998. № 6. С. 3–6.
12. Гаркави М.С., Артамонов А.В., Колодежная Е.В., Трошкина Е.А. Цементы низкой водопотребности центробежно-ударного помола и бетоны на их основе // Технологии бетонов. 2014. № 10 (99). С. 25–27.
13. Хозин В.Г., Хохряков О.В., Сибгатуллин И.Р., Гиззатуллин А.Р., Харченко И.Я. Карбонатные цементы низкой водопотребности – зеленая альтернатива цементной индустрии России // Строительные материалы. 2014. № 5. С. 76–82.
14. Хаматова А.Р., Хохряков О.В. Электросталеплавильный шлак ОАО «Ижсталь» для цементов низкой водопотребности и бетонов на их основе // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 2 (36). С. 221–227.
15. Липилин А.Б., Коренюгина Н.В., Векселер М.В. Портландцемент. Ударная активация // Популярное бетоноведение. 2007. № 5. С. 75–81.
16. Бикбау М.Я. Наноцементы – будущее мировой цементной промышленности и технологии бетонов. Часть 2 // Технологии бетонов. 2016. № 1-2 (114–115). С. 37–41.
17. Батраков В.Г., Каприелов С.С., Иванов Ф.М., Шейнфельд А.В. Оценка ультрадисперсных отходов металлургических производств как добавок в бетон // Бетон и железобетон. 1990. Вып. 12. С. 15–17.

REFERENCES

1. Bazhenov Yu.M., Demyanov V.S., Kalashnikov V.I. Modified high-quality concretes. Moscow: PH of the Association of Construction Universities; 2006. 368 p.
2. Kunn K. CEMBUREAU – cement and energy market in Europe and the world. *Tsement i ego primenenie = Journal cement and its applications*. 2013;3:22-33. (In Russ.).
3. Rickert J., Müller Ch. Efficient composite cements - a contribution for the reduction of CO₂ emissions. *Alitinform: Tsement. Beton. Sukhie smesi = Alitinform: Cement. Concrete. Dry mixtures*. 2011;2:28-49. (In Russ.).
4. Karpenko N.I., Yarmakovsky V.N. The main directions of resource saving in the construction and operation of buildings. Part 1. *Stroitel'nyi materialy = Construction materials*. 1997;7:12-21. (In Russ.).
5. Chomaeva M.N. Ecological problems of chemical industry on the environment (for example, cement production). *Natsional'naya bezopasnost' i strategicheskoe planirovanie*. 2016;2-1:141-143. (In Russ.).
6. Skorokhod M.A. The state and increasing the competitiveness of the cement market of the Eurasian Economic Union (EAEU). *Cemros.ru*. Available from: <https://cemros.ru/engine/documents/document12920> [27th October 2022].
7. Khozin V.G., Khokhryakov O.V., Bituev A.V., Urkhanova L.A. Efficiency of application of fly ash of Gusinoozerskaya GRES as a part of cements

of low water demand. *Stroitel'nye materialy = Construction materials*. 2011;7:76-78. (In Russ.).

8. Okamura H., Ouchi M. Self-Compacting concrete. *Journal of Advanced Concrete Technology*. 2003;1(1):5-15. <https://doi.org/10.3151/jact.1.5>.

9. Feys D., Verhoeven R., Schutter G. Fresh self compacting concrete, a shear thickening material. *Cement and Concrete Research*. 2008;38(7):920-929. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2008.02.008>.

10. Yudovich B.E., Dmitriev A.M., Zubekhin S.A. Cements of low water demand – binders of a new generation. *Tsement i ego primeneniye*. 1997;1:15-18. (In Russ.).

11. Krikunov O.K., Bashlykov N.F. Efficiency of binders of low water demand and concretes based on them. *Beton i zhelezobeton*. 1998;6:3-6. (In Russ.).

12. Garkavi M.S., Artamonov A.V., Kolodyazhnaya E.V., Troshkina E.A. Cements of low water demand of centrifugal impact grinding and concretes based on them. *Tekhnologii betonov*. 2014;10:25-27. (In Russ.).

13. Khozin V.G., Khokhryakov O.V., Sibgatullin I.R., Gizzatullin A.R., Kharchenko I.Ya. Carbonate cements of low water-need is a green alternative for cement industry of Russia. *Stroitel'nye materialy = Construction materials*. 2014;5:76-82. (In Russ.).

14. Khamatova A.R., Khohryakov O.V. The electro-steel-smelting slag JSC "Izhstal" for cements of low water demand and concrete on their basis. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta = News of the Kazan State University of Architecture and Engineering*. 2016;2:221-227. (In Russ.).

15. Lipilin A.B., Korenyugina N.V., Veksler M.V. Portland cement. Shock activation. *Populyarnoe betonovedeniye*. 2007;5:75-81. (In Russ.).

16. Bikbau M.Ya. Nanocements are the global cement industry and concrete technology future. Part 2. *Tekhnologii betonov*. 2016;1-2:37-41. (In Russ.).

17. Batrakov V.G., Kapriylov S.S., Ivanov F.M., Sheinfeld A.V. Evaluation of ultrafine waste of metallurgical industries as additives in concrete. *Beton i zhelezobeton*. 1990;12:15-17. (In Russ.).

Информация об авторе

Макаренко Сергей Викторович,

к.т.н., доцент,
доцент кафедры строительного производства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: makarenko_83_07@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9735-2795>

Вклад автора

Автор провел исследование, подготовил рукопись к печати и несет ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 29.12.2022.
Одобрена после рецензирования 16.01.2023.
Принята к публикации 17.01.2023.

Information about the author

Sergey V. Makarenko,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Construction Production,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: makarenko_83_07@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-9735-2795>

Contribution of the author

Autor has conducted the study, prepared the manuscript for publication and bears the responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

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

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

Information about the article

The article was submitted 29.12.2022.
Approved after reviewing 16.01.2023.
Accepted for publication 17.01.2023.



Изменение энергозатрат постциклического деформирования цементных композитов

Б.И. Пинус¹, И.Г. Корнеева² ✉

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

Аннотация. В статье представлены результаты экспериментально-аналитического обобщения энергетических затрат на деформирование и разрушение бетонов и полипропиленфиброармированных бетонов, предварительно подвергнутых циклическим нагрузкам различной амплитуды и продолжительности. Предложена многокомпонентная модель затрат (работы), учитывающая физические закономерности процесса монотонного сжатия, и установлена неоднозначность их изменений в циклических воздействиях. Испытанию подвергнуты стандартные призматические образцы (100 × 100 × 400 мм) двух серий в исходном и постциклическом состояниях: группа «А» – N = 200 циклов с амплитудой $\eta = 0,6$ и группа «В» – 50 циклов при $\eta = 0,8$. Использована оригинальная методика многофакторного автоматизированного контроля параметров сопротивления в циклическом режиме различной интенсивности и в постциклическом сопротивлении при осевом сжатии, позволяющая более адекватно моделировать процессы взаимодействия с внешней средой и анализировать их последствия. Испытания выполнялись на комплексе «Instron-5989» с автоматическим управлением процесса по специально разработанной программе и записью всех контролируемых параметров в соответствии с диаграммным методом расчета прочности железобетонных элементов. Подтверждена высокая чувствительность и информативность энергетических показателей с возможностью их использования при разработке функциональных критериальных моделей малоциклового усталости.

Ключевые слова: малоцикловая усталость, энергетические затраты, нестационарные воздействия, бетон, фибробетон

Для цитирования: Пинус Б.И., Корнеева И.Г. Изменение энергозатрат постциклического деформирования цементных композитов // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 1. С. 64–69. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-1-64-69>.

Original article

Changes in energy costs of post-cyclic deformation of cement composites

Boris I. Pinus¹, Inna G. Korneeva² ✉

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

Abstract. The paper presents the results of experimental and analytical generalization of energy costs for deformation and destruction of concretes and polypropylene-fibro-reinforced concretes, previously subjected to cyclic loads of various amplitudes and durations. A multicomponent model of costs (work) with regard to the physical regularities of monotonic compression process was proposed, and the ambiguity of their changes in cyclic tests was established. Standard prismatic samples (100 × 100 × 400 mm) of two series in the initial and post-cyclic states were tested: group “A” – N = 200 cycles with amplitude $\eta = 0.6$ and group “B” – 50 cycles with $\eta = 0.8$. The study involved an original methodology of multifactor automated control of resistance parameters in cyclic mode of different intensity and in post-cyclic resistance under axial compression, which enables the processes of interaction with the external environment to be more adequately modeled and their consequences to be analyzed. The tests were carried out using an “Instron-5989” complex with automatic process control within a specially developed program and with records of all monitored parameters conforming to the diagram method for calculating the strength of reinforced concrete elements. Energy indicators proved their high

sensitivity and informativity, as well as the possibility to be used for developing functional criteria-based models of low cycle fatigue.

Keywords: low-cycle fatigue, energy costs, non-stationary impacts, concrete, fiber concrete

For citation: Pinus B.I., Korneeva I.G. Changes in energy costs of post-cyclic deformation of cement composites. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2023;13(1):64-69. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-1-64-69>.

ВВЕДЕНИЕ

Технический регламент по обеспечению безопасности зданий и сооружений предусматривает в качестве одного из недопустимых предельное состояние по усталостному разрушению.

Сложность его практической реализации при проектировании обусловлена отсутствием комплексного подхода, учитывающего физическую природу и случайный характер воздействий, неоднозначность индуцируемых откликов и их последствий в форме критериальных предельно допустимых изменений параметров работоспособности конструкций.

Неоднозначный по структуре и разноплановый по кинетике напряженно-деформационный отклик цементных композитов предопределяет целесообразность использования в качестве критериальных усталостных изменений интегральных (обобщающих) показателей внутреннего сопротивления. В частности, имеются предложения [1–9] рассматривать взаимодействие конструкций с внешней средой как процесс необратимого поглощения и рассеивания энергии вследствие возникновения внутреннего трения при деформировании структурно-неоднородных конструктивных материалов. При таком подходе коэффициент поглощения энергии или вязкость разрушения может рассматриваться показателем усталостного сопротивления. Необходимо отметить, что ГОСТ 29167-91¹ определяет вязкость разрушения как характеристику трещиностойкости бетонов в удельных энергетических (силовых) затратах на образование трещин и разрушение образцов с априори инициируемой критической трещиной. Это не соответствует фактическому стохастическому распределению структурных несовершенств и кумулятивному процессу накопления усталостных повреждений.

В представленном ниже исследовании была использована оригинальная методика многофакторного автоматизированного контроля

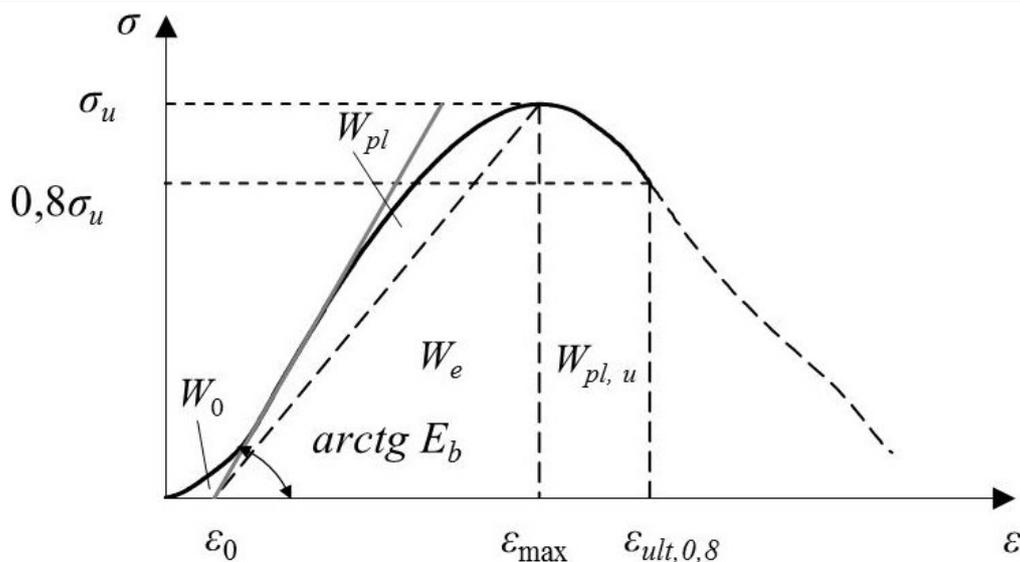
параметров сопротивления в циклическом режиме различной интенсивности и в постциклическом сопротивлении при осевом сжатии, позволяющая более адекватно моделировать процессы взаимодействия с внешней средой и анализировать их последствия.

МЕТОДЫ

Основой вероятностно-статического анализа усталостных изменений энергетических затрат являются экспериментальные «семейства» диаграмм $\sigma_b - \varepsilon_b$ стандартных призматических образцов (100 × 100 × 400 мм) двух серий в исходном и постциклическом состояниях. Образцы нормальных условий твердения изготовлены из бетона состава Ц:П:Щ:В = 1:1,42:3,57:0,55, Ц = 380 кг/м³ (серия «ОБ») и фибробетона (серия «ФБ») – аналогичного состава с дисперсным объемным армированием ($\mu = 1,5\%$) полипропиленовыми волокнами ($d_f = 0,8$ мм и $l_f = 40$ мм).

В двухмесячном возрасте образцы были подвергнуты циклическим воздействиям различной интенсивности и продолжительности с соблюдением примерной тождественности энергетических затрат (группа «А» – N = 200 циклов с амплитудой $\eta = 0,6$ и группа «В» – 50 циклов при $\eta = 0,8$). На последних циклах воздействий производилось монотонное нагружение с постоянной скоростью деформирования (0,004 мм/с) вплоть до разрушения. Все испытания выполнялись на комплексе «Instron-5989» с автоматическим управлением процесса по специально разработанной программе и записью всех контролируемых параметров в соответствии с диаграммным методом расчета прочности железобетонных элементов. Испытательный комплекс позволяет получать полные диаграммы сжатия, включая начальные (ε_0) и деформации нисходящей ветви ($\varepsilon_{ult,0,8}$). С учетом целевых задач исследования затрачиваемая энергия ранжировалась в соответствии с физическими закономерностями деформирования (рисунок) на четыре этапа.

¹ГОСТ 29167-91 Бетоны. Методы определения характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении. М.: Изд-во стандартов, 2004. 14 с.



Структурная модель энергозатрат

Структурная модель энергозатрат (рисунок):

$$W = W_0 + W_e + W_{pl} + W_{pl,u}; W_u = W_0 + W_e + W_{pl}$$

где компоненты соответствовали работе первоначального уплотнения структуры (W_0), стадиям упругого (W_e), пластического (W_{pl}) деформирования и самоускоряемого разрушения ($W_{pl,u}$). Их разделение осуществлялось в автоматическом режиме в соответствии с разработанной программой испытаний. Количество (12–16 штук) образцов на каждом этапе позволяло анализировать статистические закономерности распределения энергетических затрат. Их исходные значения по критериям сходимости Колмогорова² соответствуют нормальному распределению, значимые статисти-

ки которого приведены в табл. 1.

При существенных различиях общих энергетических затрат (из-за снижения прочности фиброкомполитов), оба состава характеризуются сравнительным сходством относительных затрат на компоненты принятой энергетической модели.

Исключение составляют затраты W_0 , что объяснимо повышенной структурной неоднородностью фибробетонов и неоднозначностью последствий на начальном этапе приспособляемости [10–14].

Энергетические затраты деформирования и разрушения при сжатии после «ЦВ» различной интенсивности и их структурно-компонентная кинетика характеризуется данными, приведенными в табл. 2.

Таблица 1. Статистические показатели параметров в исходном состоянии

Table 1. Statistical indicators of parameters in the initial state

Параметр	Ед. изм.	Статистики распределения серий					
		«ОБ»			«ФБ»		
		Среднее	Коэффициент вариации, %	Диапазон 95% обеспеченности	Среднее	Коэффициент вариации, %	Диапазон 95% обеспеченности
W	кПа·мм/мм	89	5	80–98	65	10	52–77
W_u		63	10	50–75	46	13	34–58
W_0		0,074	56	0,01–0,15	0,29	46	0,02–0,56
W_e		51	10	41–61	38	12	28–47
W_{pl}		12	17	8–16	8	19	5–11
$W_{pl,u}$		26	22	15–38	16	16	11–22
W_e/W_u		–	0,81	3	0,77–0,85	0,82	2
W_{pl}/W_u	–	0,19	11	0,15–0,23	0,17	11	0,13–0,20
W_u/W	–	0,7	9	0,58–0,82	0,74	3	0,7–0,78
$W_{pl,u}/W$	–	0,3	20	0,18–0,42	0,26	8	0,22–0,3

Таблица 2. Энергозатраты постциклического сжатия и их кинетика
Table 2. Energy consumption of post-cyclic compression and their kinetics

Параметры «ЦВ»		Серия	Относительные изменения энергозатрат (кПа·мм/мм) и их изменение (%)										Соотношения	
			W		W _u		W _e		W _{pl}		W _{pl,u}			
η	N		Ср.	K _w	Ср.	K _{wu}	Ср.	K _{wе}	Ср.	K _{wpl}	Ср.	K _{wpl,u}	$\frac{W_{pl}}{W_u}$	$\frac{W_{pl} + W_{pl,u}}{W}$
0,6	200	ОБ	70,1	0,78	49,5	0,79	39,0	0,77	10,6	0,89	20,5	0,77	0,21	0,43
		ФБ	65,3	1,01	44,0	0,96	33,8	0,90	10,2	1,31	21,1	1,27	0,23	0,37
0,8	50	ОБ	56,0	0,63	38,5	0,61	32,5	0,64	6,1	0,56	17,3	0,65	0,16	0,38
		ФБ	49,0	0,76	34,3	0,75	28,0	0,74	5,9	0,75	14,6	0,88	0,17	0,42

Они свидетельствуют о высокой чувствительности энергетических показателей к многократным динамическим воздействиям и определяющем влиянии амплитуды на инициируемые последствия. Умеренная интенсивность ($\eta = 0,6$) способствует сближению энергетических потенциалов с разнонаправленной кинетикой изменений – снижением у обычного и стабильности у фиброармированного бетонов. При этом наблюдается тождественность изменения компонентов первого («ОБ») и внутрискруктурная трансформация энергии фибробетонов, у которых происходит практически компенсационное перераспределение части затрат с упругого на пластическое деформирование (W_{pl}) и разрушение ($W_{pl,u}$). Высокая интенсивность цикловых нагрузок с амплитудой «η», близкой к верхней границе R_{cr}^v , ведет к ускоренной усталостной деструкции с необратимыми последствиями. Как следствие, происходит снижение всех компонентов энергетических затрат при постциклическом сжатии. При этом фиброкомпозиты отличаются более умеренной динамикой снижения, преимущественно за счет пластического компонента сопротивления.

Дискретный анализ энергетических затрат

позволяет оценивать и демпфирующую способность конструктивных материалов. Полагая, что рассеивание энергии вынужденных колебаний происходят за счет пластических (псевдопластических) деформаций и внутреннего трения³ [15–17], доля пластических (W_{pl} / W_u) и суммарных необратимых ($(W_{pl} + W_{pl,u}) / W_u$) затрат будет характеризовать потенциал демпфирования, а их постциклические изменения – усталостную устойчивость композитов. Сопоставление этих параметров (табл. 1 и 2) однозначно подтверждает повышенный потенциал демпфирования полипропиленфиброармированных композитов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Энергетические показатели внутреннего сопротивления цементных композитов являются чувствительными и информативными показателями изменений при нестационарных механических воздействиях и могут рассматриваться как критериальная основа малоциклового усталости.

2. Оптимальное дисперсное армирование бетонов мелкокоразмерными полипропиленовыми волокнами повышает их усталостную сопротивляемость и демпфирующую способность.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Cachim P.B., Figueiras J.A., Pereira P.A.A. Fatigue behavior of fiber-reinforced concrete in compression // *Cement and Concrete Composites*. 2002. Vol. 24. No. 2. P. 211–217.
[https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(01\)00019-1](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(01)00019-1).
 2. Castillo E., Fernandez-Cantelli A., Ruiz-Ripoll M.L. A general model for fatigue damage due to any stress history // *International Journal of Fatigue*. 2008. Vol. 30. Iss. 1. P. 150–164.
<https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2007.02.011>.
 3. Gao L., Hsu T.C.C. Fatigue of concrete under uniaxial compression cyclic loading // *Materials Journal*. 1998. N 95 (5). P. 575–581.

<https://doi.org/10.14359/407>.
 4. Ghosni N., Samali B., Vessalas K. Evaluation of structural behaviour of polypropylene fibre reinforced concrete beam under cyclic loading // *23rd Australasian Conference on the Mechanics of Structures and Materials (ACMSM23) Byron Bay, Australia (9-12 December 2014)*. S.T. Smith (Ed.). 2014. P. 1–8.
 5. Huang B.-T., Li Q., Xu S., Zhou B. Effect of loading frequency on the fatigue behavior of ultra-high toughness cementitious composites in compression // *14th International Conference on Fracture 2017 (ICF-14) (18-23 June, 2017, Rhodes, Greece)*.

³Корчинский И.Л., Беченева Г.В. Прочность строительных материалов при динамических нагружениях: пособие для проектировщиков. М.: Стройиздат, 1966. 212 с.

2017. Vol. 1. Part A. P. 287–288. Ed.: E.E. Gdoutos. Curran Associates, Inc. 57 Morehouse Lane. Red Hook, NY 12571.

6. Isojeh B., El-Zeghayar M., Vecchio F.J. Concrete damage under fatigue loading in uniaxial compression // *Aci Materials Journal*. 2017. Vol. 114. No. 2. P. 225–235. <https://doi.org/10.14359/51689477>.

7. Lee M.K., Barr B.I.G. An overview of the fatigue behaviour of plain and fibre reinforced concrete // *Cement and Concrete Composites*. 2004. Vol. 26. Iss. 4. P. 299–305. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(02\)00139-9](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(02)00139-9)

8. Беченева Г.В. Прочность бетона при немногочисленных повторных нагружениях // Исследования по сейсмостойкости зданий и сооружений. Тр. Центрального научно-исследовательского института строительных конструкций. 1961. Вып. 6. С. 91–118.

9. Барашиков А.Я., Шевченко Б.Н., Валовой А.И. Малоцикловая усталость при сжатии // *Бетон и железобетон*. 1985. № 4. С. 27–28.

10. Li C.Y., Song Y.P. Study of residual strain of concrete under fatigue loading // *Journal of Dalian University of Technology*. 2001. Vol. 41. No. 3. P. 355–358.

11. Liu F., Zhou J. Research on fatigue strain and fatigue modulus of concrete // *Advances in Civil En-*

gineer-ing. 2017. Vol. 2017. P. 6272906. <https://doi.org/10.1155/2017/6272906>.

12. Von der Haar C., Marx S. A strain model for fatigue loaded concrete // *Structural Concrete*. 2017. Vol. 19. Iss. 2. P. 463–471. <https://doi.org/10.1002/suco.201700029>.

13. Wang H.L. Song Y.P. Fatigue capacity of plain concrete under fatigue loading with constant confined stress // *Materials and Structures*. 2011. Vol. 44. No. 1. P. 253–262. <https://doi.org/10.1617/s11527-010-9624-6>.

14. Zhang J., Stang H., Li V.C. Experimental study on crack bridging in FRC under uniaxial fatigue tension // *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2000. Vol. 12. No. 1. P. 66–73. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)08991561\(2000\)12:1\(66\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)08991561(2000)12:1(66)).

15. Кузовчикова Е.А., Яшин А.В. Исследование влияния малоцикловых сжимающих воздействий на деформативность, прочность и структурные изменения бетона // *Известия вузов. Строительство и архитектура*. 1976. № 10. С. 30–35.

16. Москвитин В.В. Циклическое нагружение элементов конструкций. М.: Наука, 1981. 344 с.

17. Яшин А.В. Некоторые данные о деформациях и структурных изменениях бетона при осевом сжатии // *Новое о прочности железобетона*. М.: Стройиздат, 1977. С. 17–30.

REFERENCES

1. Cachim P.B., Figueiras J.A., Pereira P.A.A. Fatigue behavior of fiber-reinforced concrete in compression. *Cement and Concrete Composites*. 2002;24(2):211-217. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(01\)00019-1](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(01)00019-1).

2. Castillo E., Fernandez-Cantelli A., Ruiz-Ripoll M.L. A general model for fatigue damage due to any stress history. *International Journal of Fatigue*. 2008;30(1):150-164. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2007.02.011>.

3. Gao, L., Hsu, T.C.C. Fatigue of concrete under uniaxial compression cyclic loading. *Materials Journal*. 1998;95:575-581. <https://doi.org/10.14359/407>.

4. Ghosni N., Samali B., Vessalas K. Evaluation of structural behaviour of polypropylene fibre reinforced concrete beam under cyclic loading // 23rd Australasian Conference on the Mechanics of Structures and Materials (ACMSM23) Byron Bay, Australia. 9-12 December 2014. S.T. Smith (Ed.). 2014. P. 1-8.

5. Huang B.-T., Li Q., Xu S., Zhou B. Effect of loading frequency on the fatigue behavior of ultra-high toughness cementitious composites in compression // 14th International Conference on Fracture 2017 (ICF-14) (18-23 June, 2017, Rhodes, Greece). 2017. Vol. 1. Part A. P. 287–288. Ed.: E.E. Gdoutos. Curran Associates, Inc. 57 Morehouse Lane. Red Hook, NY 12571.

6. Isojeh B., El-Zeghayar M., Vecchio F.J. Concrete damage under fatigue loading in uniaxial compression. *Aci Materials Journal*. 2017;114(2):225-235.

<https://doi.org/10.14359/51689477>.

7. Lee M.K., Barr B.I.G. An overview of the fatigue behaviour of plain and fibre reinforced concrete. *Cement and Concrete Composites*. 2004;26(4):299-305. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(02\)00139-7](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(02)00139-7).

8. Becheneva G. V. Concrete strength under few repeated loads. *Research on earthquake resistance of buildings and structures: Proceedings of the Central Research Institute*. 1961;6:91-118. (In Russ.).

9. Barashikov A.Ya. Shevchenko B.N., Valovoy A.I. Low-cycle fatigue during compression. Concrete and reinforced concrete. 1985;4:27-28. (In Russ.).

10. Li C.Y., Song Y.P. Study of residual strain of concrete under fatigue loading. *Journal of Dalian University of Technology*. 2001;41(3):355-358.

11. Liu F., Zhou J. Research on fatigue strain and fatigue modulus of concrete. *Advances in Civil Engineering*. 2017;2017:6272906. <https://doi.org/10.1155/2017/6272906>.

12. Von der Haar C., Marx S. A strain model for fatigue loaded concrete. *Structural Concrete*. 2017;19(2):463-471. <https://doi.org/10.1002/suco.201700029>.

13. Wang H.L. Song Y.P. Fatigue capacity of plain concrete under fatigue loading with constant confined stress. *Materials and Structures*. 2011;44(1):253-262. <https://doi.org/10.1617/s11527-010-9624-6>.

14. Zhang J., Stang H., Li V.C. Experimental study on crack bridging in FRC under uniaxial fatigue ten-

sion. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2000;12(1):66-73.

[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2000\)12:1\(66\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2000)12:1(66)).

15. Kuzovchikova E.A., Yashin A.V. Investigation of the influence of low-cycle compressive effects on deformability, strength, and structural changes of concrete. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektu-*

ra. 1976;10:30-35. (In Russ.).

16. Moskvitin V.V. Cyclic loading of construction elements. Moscow: Nauka; 1987. 344 p. (In Russ.).

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

Информация об авторах

Пинус Борис Израилевич,

д.т.н., профессор, профессор кафедры строительного производства, Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия, e-mail: pinus@istu.edu <https://orcid.org/0000-0002-3067-9478>

Корнеева Инна Геннадьевна,

к.т.н., доцент кафедры строительного производства, Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия, e-mail: kornee-inna@yandex.ru <https://orcid.org/0000-0001-6130-0195>

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 26.12.2022. Одобрена после рецензирования 16.01.2023. Принята к публикации 18.01.2023.

Information about the authors

Boris I. Pinus,

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Building Production, Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia, e-mail: pinus@istu.edu <https://orcid.org/0000-0002-3067-9478>

Inna G. Korneeva,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Building Production, Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia, e-mail: kornee-inna@yandex.ru <https://orcid.org/0000-0001-6130-0195>

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Conflict of interests

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

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

Information about the article

The article was submitted 26.12.2022. Approved after reviewing 16.01.2023. Accepted for publication 18.01.2023.

**Зависимость фактической степени наполнения самотечных сетей водоотведения от толщины слоя осадка в лотковой части труб****О.А. Продоус¹, Д.И. Шлычков² ✉, С.В. Пархоменко³, И.А. Абросимова⁴**¹ООО «ИНКО-эксперт», г. Санкт-Петербург, Россия^{2,4}Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия³Управление капитального строительства АО «Мосводоканал», г. Москва, Россия

Аннотация. Нормативными требованиями СП 32.13330.2018 «Канализация. Наружные сети и сооружения» установлены минимальные скорости движения сточных вод в сетях водоотведения, в зависимости от наибольшей степени наполнения труб. Известно, что в процессе эксплуатации самотечных сетей водоотведения при определенных условиях возможно образование слоя внутренних отложений, способствующего увеличению степени наполнения труб и изменению значений гидравлических характеристик потока. Предложена зависимость, устанавливающая связь значений гидравлических характеристик потока от величины слоя внутренних отложений на поверхности, по которой движется сточная жидкость. Используются расчетные зависимости, предложенные авторами для выполнения гидравлического расчета самотечных сетей водоотведения с отложениями на поверхности, по которой движется сточная жидкость. Подтверждено существование зависимости фактической степени наполнения труб сетей водоотведения от величины слоя внутренних отложений на поверхности, по которой движется сточная жидкость. Приведен конкретный пример, подтверждающий существование такой зависимости. Представлен график зависимости фактической степени наполнения труб от толщины слоя осадка в их лотковой части. Показано, что в процессе эксплуатации сетей водоотведения с внутренними отложениями необходимо контролировать величину фактической степени наполнения труб $\frac{H_{\phi}}{d_{np}}$ и величину слоя осадка в их лотковой части h , оказывающих существенное влияние на значения гидравлических характеристик потока сточной жидкости.

Ключевые слова: сети водоотведения, степень наполнения труб, осадок, гидравлический расчет, гидравлический потенциал

Для цитирования: Продоус О.А., Шлычков Д.И., Пархоменко С.В., Абросимова И.А. Зависимость фактической степени наполнения самотечных сетей водоотведения от толщины слоя осадка в лотковой части труб // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 1. С. 70–75. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-1-70-75>.

Original article**Dependence of actual filling level of gravity flow water distribution on sediment thickness in benching part of pipes****Oleg A. Prodous¹, Dmitriy I. Shlychkov² ✉, Sergey V. Parkhomenko³, Ivanna A. Abrosimova⁴**¹INCO-Expert LLC, Saint Petersburg, Russia^{2,4}Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russia³Capital Construction Department of Mosvodokanal JSC, Moscow, Russia

Abstract. The regulatory requirements of SP 32.13330.2018 (Sewerage. Pipelines and wastewater treatment plants) set the minimum sewage velocity in water distribution systems, depending on the

highest filling level of pipes. It is known that during the operation of gravity flow water distribution systems under certain conditions, a layer of internal sediments might be formed, which increases the filling level of pipes and changes the values of the hydraulic characteristics of the flow. The study suggests the dependence between the values of hydraulic characteristics of the flow and the amount of internal sediments on the surface where the sewage flows. The authors introduced the calculated dependencies for hydraulic calculation of gravity flow water distribution systems with sediments on the surface where the sewage is moving. The study confirmed the dependence of the actual filling level of gravity flow water distribution systems on the amount of sediments on the surface. A specific example confirming the existence of such a dependence was given. The paper presented a graph of dependence between actual filling level and sediment thickness in benching part of pipes. It was shown that during the operation of gravity flow water distribution systems with internal sediments it is necessary to control the value of the actual filling of pipes $\frac{H_{\phi}}{d_{np}}$ and the amount of sediment in their benching part h , which have a significant impact on the values of the hydraulic characteristics of the sewage flow.

Keywords: sewerage networks, degree of filling of pipes, sediment, hydraulic calculation, hydraulic potential

For citation: Prodous O.A., Shlychkov D.I., Parkhomenko S.V., Abrosimova I.A. Dependence of actual filling level of gravity flow water distribution on sediment thickness in benching part of pipes. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2023;13(1):70-75. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-1-70-75>.

ВВЕДЕНИЕ

Для самотечных сетей водоотведения с отложениями в лотковой части труб необходимо ввести понятие [1] фактическая степень наполнения труб – величина, являющаяся отношением фактического уровня наполнения в трубах H_{ϕ} к величине их приведенного диаметра d_{np} , $\frac{H_{\phi}}{d_{np}}$. Понятие «приведенный диаметр труб» d_{np} подробно описано в работах¹ [2]. В работе [3] представлен график, подтверждающий изменение фактической скорости потока V_{ϕ} в зависимости от величины слоя внутренних отложений h на поверхности, по которой движется сточная жидкость, а также график зависимости $d_{np} = f(h)$, подтвержда-

ющий, что чем больше значение фактической толщины слоя осадка h , тем меньше значение приведенного диаметра труб d_{np} , входящего в уточненную авторами расчетную зависимость A . Шези для гидравлического расчета самотечных сетей водоотведения с отложениями в их лотковой части.

Фактический уровень наполнения труб H_{ϕ} (рис. 1) всегда отличается в большую сторону от нормативного H , за счет величины слоя внутренних отложений h на поверхности по которой движется сточная жидкость. Значение величины фактического уровня наполнения в трубах H_{ϕ} зависит от значения толщины слоя осадка h в их лотковой части (рис. 1).

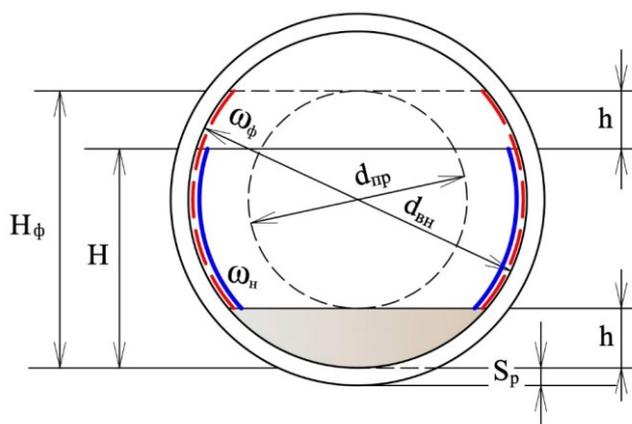


Рис. 1. Изменение уровня наполнения H при наличии слоя отложений h
Fig. 1. Change in filling level H in the presence of a layer of deposits h

¹СП 32.13330.2018. Свод правил. Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85 // Кодекс.ру [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200094155> (28.10.2022).

Это подтверждается также существованием зависимости $V_{\phi} = f(h)$ [4], свидетельствующей о необходимости обязательного контроля фактических значений H_{ϕ} , влияющих на значение регламентированной СП 32.13.330.2018¹ степени наполнения труб $\frac{H}{d_{вн}}$.

МЕТОДЫ

Проанализируем на конкретном примере изменение значений H_{ϕ} , а следовательно, и фактической степени наполнения труб $\frac{H_{\phi}}{d_{пр}}$ в зависимости от измеренной толщины слоя осадка h в их лотковой части составляет $h = 120$ мм (0,12 м).

РЕШЕНИЕ

По СП 32.13330.2018¹ определяют рекомендуемое значение уровня наполнения H в новой бетонной трубе с условным проходом 400 мм при отсутствии слоя внутренних отложений в лотковой части:

$$\frac{H}{d_{вн}} = 0,7, \text{ откуда } H = 0,7 \cdot 0,4 = 0,28 \text{ м.}$$

Согласно условиям задачи, определяют значение H_{ϕ} . Для этого по формуле (1) подсчитывают значение d_{ϕ} [3]:

$$d_{\phi} = (d_{н} - 2S_{р}) - h, \text{ м} \quad (1)$$

где $d_{н}$ – наружный диаметр бетонной трубы по ГОСТ, м, $d_{н} = 0,511$ м; $S_{р}$ – толщина стенки трубы по ГОСТ, м, $S_{р} = 0,055$ м; H – толщина слоя внутренних отложений в лотковой части, $h = 0,12$ м (задана).

Требованиями СП 32.13330.2018¹ нормируется степень наполнения $\frac{H}{d_{вн}}$ труб водоотведения конкретного диаметра.

Поэтому от фактической толщины слоя осадка H_{ϕ} будет зависеть значение фактического уровня наполнения труб:

$$H_{\phi} = H_{н} + h_{\phi},$$

где $H_{н}$ – нормативное значение наполнения труб по СП 32.13330.2018¹, м.

По заданной степени наполнения труб $\frac{H}{d_{вн}} = 0,7$, диаметром 400 мм вычисляют значения d_{ϕ} по формуле (1):

$$d_{\phi} = (d_{н} - 2S_{р}) - h = d_{вн} - h = 0,400 - 0,12 = 0,28 \text{ м,} \quad (2)$$

т.е. значение d_{ϕ} характеризует уровень фактического наполнения труб H_{ϕ} на 10% больше, чем значение нормативного уровня $H = 0,28$ м:

$$H_{\phi} = 1,1 \times H = 1,1 \times 0,28 = 0,308 \text{ м,}$$

тогда

$$\frac{H}{d_{вн}} = 1,1 \times \frac{H}{d_{вн}} = 1,1 \times 0,7 = 0,77.$$

По формуле (3) определяют значение $d_{пр}^{\phi}$ в трубе с толщиной слоя отложений $h = 0,12$ м [3]: $d_{вн}$ – значение по ГОСТ для бетонных труб – $d_{вн} = 0,400$ м:

$$d_{пр}^{\phi} = \sqrt{d_{н}^2 - (d_{вн} - h)^2}, \text{ м} \quad (3)$$

$$d_{пр}^{\phi} = \sqrt{0,511^2 - (0,4 - 0,12)^2} = \sqrt{0,2611 - 0,0784} = \sqrt{0,1827} = 0,428 \text{ м;}$$

$$d_{пр}^{\phi} = d_{пр} - d_{вн} = 0,428 - 0,400 = 0,028 \text{ м.}$$

Далее определяют значение фактической степени наполнения в трубе со слоем отложений с толщиной осадка $h = 0,12$ м:

$$\frac{H_{\phi}}{d_{пр}} = \frac{1,1H}{d_{вн}} = 1,1 \times 0,7 = 0,77.$$

Если принять, что нормативное значение $\frac{H}{d_{вн}} = 0,7$, то фактическое значение $\frac{H_{\phi}}{d_{пр}}$ составит: $0,7 + 10\% = 0,77$ [1].

Тогда фактический уровень наполнения труб H_{ϕ} будет больше значения нормативного H на величину, равную толщине слоя внутренних отложений h в их лотковой части, т.е. $H_{\phi} = H + h = 0,28 + 0,12 = 0,400$ м.

Это свидетельствует о нарушении требований СП 32.13330.2018¹, так как трубопровод начинает работать полным сечением и отсутствует свободное пространство между сводом трубы и поверхностью самотечного потока для обеспечения его вентиляции и удаления дурнопахнущих газов.

Приведенный в работе [1] график зависимости $H_{\phi} = f(h)$ подтверждает это.

Работа самотечных сетей водоотведения с полным наполнением также недопустима по правилам их технической эксплуатации [4, 5].

Построим график зависимости фактической степени наполнения труб $\frac{H_{\phi}}{d_{пр}}$ от толщины слоя внутренних отложений h в лотковой части труб для условий приведенного примера. В таблице приведены значения параметров, необходимые для построения графика зависимости $\frac{H_{\phi}}{d_{пр}} = f(h)$.

По данным таблицы на рис. 2 построен график зависимости степени фактического наполнения труб $\frac{H_{\phi}}{d_{пр}}$ от толщины слоя осадка h в их лотковой части.

Значения параметров, необходимых для построения графика зависимости $\frac{H_f}{d_{пр}} = f(h)$

Parameter values required to plot the dependence $\frac{H_f}{d_{пр}} = f(h)$

Толщина слоя отложений в лотковой части труб, h , м	Внутренний диаметр / приведенный $d_{вн}/d_{пр}$, м	Толщина стенки, S_p , м	Уровень фактического наполнения труб, H_f , м	Степень фактического наполнения $\frac{H_f}{d_{пр}}$
0	0,300 / 0,3	0,04	0,180	0,66 (0,6)
0,05	0,400 / 0,206	0,055	0,280	0,77 (0,7)
0,07	0,500 / 0,174	0,065	0,375	0,83 (0,75)
0,10	0,600 / 0,135	0,075	0,450	0,88 (0,8)
0,12	0,800 / 0,114	0,085	0,640	0,90 (0,8)
0,15	0,800 / 0,088	0,085	0,790	0,92 (0,8)

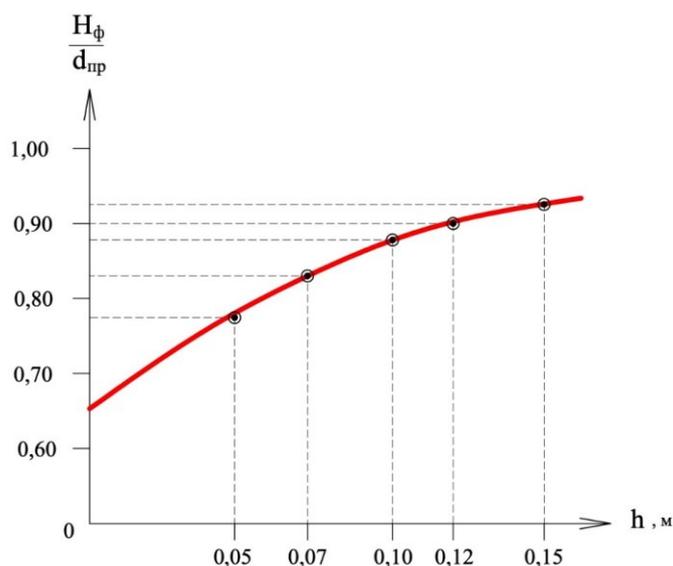


Рис. 2. График зависимости $\frac{H_f}{d_{пр}} = f(h)$

Fig. 2. Dependency graph $\frac{H_f}{d_{пр}} = f(h)$

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ значений характеристик, приведенных в таблице и графика на рис. 2 зависимости $\frac{H_f}{d_{пр}} = f(h)$ показывает, что чем больше значение величины слоя внутренних отложений h на поверхности, по которой движется сточная жидкость, тем больше значение степени их фактического наполнения $\frac{H_f}{d_{пр}}$ и тем больше уровень фактического наполнения труб H_f . График на рис. 2 подтверждает также необходимость постоянного контроля величины фактического уровня наполнения труб H_f с целью предотвращения возможности работы сети водоотведения полным сечением. Таким образом, принимая во внимание вышесказанное, можно сделать следующие выводы: для предотвращения нарушений требований

СП 32.13330.2018¹, касающихся значений фактической степени наполнения труб $\frac{H_f}{d_{пр}}$ сети водоотведения с отложениями в их лотковой части, необходимо:

- разработать методику контроля величины слоя внутренних отложений h на поверхности по которой движется сточная жидкость h в лотковой части труб, используя разработанные для этого устройства, например [6];
- нормативно установить необходимость обязательного контроля (не реже одного раза в месяц) значений величины фактического уровня наполнения труб H_f , контролируемого с помощью специальных устройств [7];
- для расчета степени фактического наполнения труб $\frac{H_f}{d_{пр}}$ разработать методику подсчета значений приведенного диаметра $d_{пр}$ для труб

разного диаметра по сортаменту из разных видов материалов и с разной величиной слоя внутренних отложений h на поверхности, по которой движется сточная жидкость;

– рекомендовать при эксплуатации сетей водоотведения с отложениями в лотковой части труб не допускать превышения нормативной степени наполнения труб $\frac{H}{d_{вн}}$ более чем на 10% [1].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На конкретном примере показано, что существует зависимость фактической степени наполнения самотечных сетей водоотведения

$\frac{H_{ф}}{d_{пр}}$ от величины слоя внутренних отложений h на поверхности, по которой движется сточная жидкость:

$$\frac{H_{ф}}{d_{пр}} = f(h)$$

Для контроля уровня фактического наполнения труб сетей водоотведения с отложениями в их лотковой части, а также толщины слоя отложений в них h разработаны и рекомендованы специальные устройства [6, 7].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Продоус О.А., Шлычков Д.И., Абросимова И.А. Обоснование необходимости проведения гидродинамической очистки самотечных сетей водоотведения // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. № 1. С. 106–114.
<https://doi.org/10.22227/1997-0935.2022.1.106-114>.
2. Продоус О.А., Шлычков Д.И. Прогнозирование возможности продолжения эксплуатации самотечных сетей водоотведения с отложениями в лотковой части труб // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. Иркутск, 2021. Т. 11. № 4. С. 646–653.
<https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-4-646-653>.
3. Продоус О.А., Шлычков Д.И. Зависимость фактической скорости потока в самотечных сетях водоотведения от толщины слоя отложений в лотковой части труб // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2021»: материалы XIII Междунар. науч.-практ. конф. (г. Сочи, Красная Поляна, 14–17 декабря 2021 г.). Новочеркасск: ООО «Лик», 2021. С. 101–104.

4. Яковлев С.В., Калицун В.Н. Самоочищение канализационной сети // Водоснабжение и санитарная техника. 1970. № 7. С. 4–7.
5. Чупин Р.В., Шишелова Т.И., Бобер А.А. Напорное – безнапорное движение стоков в системах водоотведения кольцевой структуры // Фундаментальные исследования. 2012. № 11-6. С. 1480–1486.
6. Пат. № 207822 РФ, МПК G01B 5/06, G01B 5/28, G01B 17/02, G01B 17/08, E21B 47/085, G01N 29/265. Устройство для измерения толщины отложений в трубе / О.А. Продоус, Д.И. Шлычков; заявители и патентообладатели О.А. Продоус, Д.И. Шлычков. Заявл. 23.07.2021; опубл. 18.11.2021. Бюл. № 32.
7. Пат. № 2022102567 РФ, МПК G01F 23/30. Устройство для измерения уровня жидкости / О.А. Продоус, Д.И. Шлычков, С.В. Пархоменко; заявители и патентообладатели О.А. Продоус, Д.И. Шлычков, С.В. Пархоменко. Заявл. 02.02.2022; опубл. 08.07.2022.

REFERENCES

1. Prodous O.A., Shlychkov D.I., Abrosimova I.A. Justification of the need for the hydrodynamic cleaning of gravity water discharge networks. *Vestnik MGSU = Vestnik MGSU*. 2022;17(1):106-114. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2022.1.106-114>. (In Russ.).
2. Prodous O.A., Shlychkov D.I. Forecasting continued operation of gravity drainage networks with deposits in pipe water troughs. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2021;11(4):646-653. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-4-646-653>.
3. Prodous O.A., Shlychkov D.I. Dependence of the actual flow rate in gravity sewerage networks on the thickness of the sediment layer in the tray part of the pipes. *Tekhnologii ochistki vody «TEKhNOVOD-2021»: materialy XIII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Water purification tech-*

4. Yakovlev S.V., Kalitsun V.N. Self-cleaning sewer network. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water Supply and Sanitary Technique*. 1970;7:4-7. (In Russ.).
5. Chupin R.V., Shishelova T.I., Bober A.A. The pressure – non-pressure movement of drains in ring systems of water removal. *Fundamental'nye issledovaniya = Fundamental Research*. 2012;11-6:1480-1486. (In Russ.).
6. Prodous O.A., Shlychkov D.I. A device for measuring the thickness of deposits in a pipe. Patent RF, no. 207822; 2021. (In Russ.).
7. Prodous O.A., Shlychkov D.I. Parkhomenko S.V. Liquid level measuring device. Patent RF, no. 2022102567; 2022. (In Russ.).

Информация об авторах

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

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

Пархоменко Сергей Викторович,
главный инженер, заместитель директора
Управления капитального строительства
АО «Мосводоканал»,
105005, г. Москва, Плетешковский пер., 2,
Россия,
e-mail: parhomenko_sv@mosvodokanal.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2514-8629>

Абросимова Иванна Александровна,
старший преподаватель кафедры
общей и прикладной физики,
Национальный исследовательский
Московский государственный строительный
университет,
129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26,
Россия,
e-mail: AbrosimovaIA@mgsu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4207-4449>

Information about the authors

Oleg I. Prodous,
Dr. Sci. (Eng.), General Director,
INCO-Expert LLC,
37/1, letter A, Moskovskii Ave.,
190005, Saint Petersburg, Russia,
e-mail: pro@enco.su
<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: ShlyichkovDI@mgsu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0210-2695>

Sergey V. Parkhomenko,
Chief Engineer, Deputy Director
Capital Construction Department
of Mosvodokanal JSC,
2 Pleteshkovsky per., Moscow 105005,
Russia,
e-mail: parhomenko_sv@mosvodokanal.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2514-8629>

Ivanna A. Abrosimova,
Senior Lecturer of Department
of General and Applied Physics,
Moscow State University
of Civil Engineering
(National Research University),
26 Yaroslavskoye Shosse, Moscow 129337,
Russia,
e-mail: AbrosimovaIA@mgsu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4207-4449>

Вклад авторов

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта ин-
тересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончатель-
ный вариант рукописи.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 02.12.2022.
Одобрена после рецензирования 23.12.2022.
Принята к публикации 26.12.2022.

Contribution of the authors

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

Conflict of interests

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

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

Information about the article

The article was submitted 02.12.2022.
Approved after reviewing 23.12.2022.
Accepted for publication 26.12.2022.



Оценка баланса подземных вод и их пространственного распределения в рамках миссии НАСА GRACE для р. Голубой Нил в Эфиопии (Восточная Африка)

В.Р. Чупин^{1✉}, А.К. Йоше²

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

²Университет Арба Минч, г. Арба Минч, Эфиопия

Аннотация. В работе предлагается методика оценки баланса подземных вод на примере водораздела р. Голубой Нил с использованием космических технологий НАСА GRACE. Международный спутниковый эксперимент по определению гравитации и климатических изменений (GRACE) проводится с 2002 г. для измерения пространственно-временных вариаций гравитационного поля Земли. Это система дистанционного определения изменений силы тяжести, связанных с масс потоками в земной коре. В работе используется гравитационное восстановление и климатический эксперимент с глобальной системой ассимиляции земель для расчета запасов подземных вод применительно к водоразделу р. Голубой Нил, которые базируются на обработке спутниковых данных и пространственной локализации территории водораздела р. Голубой Нил с использованием оптимально-построенной функции окна с ограниченной полосой сканирования. Запасы подземных вод и динамика их изменения исследовались с 2003 по 2010 гг. Учитывая наземные запасы воды, поверхностный сток и влажность почвы, авторы оценили накопления грунтовых вод в бассейне р. Голубой Нил. Результаты исследования показали, что среднее накопление грунтовых вод в исследуемом районе составило 1100,0 мм/год. Из-за отсутствия наземных гидрологических исследований проверка полученных данных не проводилась и была рекомендована в качестве будущего направления для исследований в этой области.

Ключевые слова: хранение подземных вод, пространственное распределение, наземное хранение воды, влажность почвы, GRACE, GLDAS

Для цитирования: Чупин В. Р., Йоше А. К. Оценка баланса подземных вод и их пространственного распределения в рамках миссии НАСА GRACE для р. Голубой Нил в Эфиопии (Восточная Африка) // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 1. С. 76–89. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-1-76-89>.

Original article

Evaluating groundwater balance and its spatial Distribution as part of NASA GRACE mission for Blue Nile River (Ethiopia, East Africa)

Viktor R. Chupin^{1✉}, Agegnehu K. Yoshe²

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

²Arba Minch University, Arba Minch, Ethiopia

Abstract. The paper introduces a methodology for estimating groundwater balance on the example of the Blue Nile basin by means of NASA GRACE space technologies. The international Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) was launched in 2002 to measure time-space variations in the Earth's gravity field. It is a system for remote determination of changes in gravitational force associated with variations of mass within the Earth. The study involves a gravity recovery and climate experiment together with The Global Land Data Assimilation System to calculate groundwater storage as applied to the Blue Nile River basin, based on processing satellite data and spatial localization of the Blue Nile River using an optimal window function with specific scan line. Groundwater storage and its dy-

© Чупин В.Р., Йоше А.К., 2023

namics were investigated from 2003 to 2010. Considering surface water storage, surface runoff and soil moisture, the authors estimated groundwater budget in the Blue Nile River basin. According to the obtained results, the average groundwater storage in the area under study comprised 1100.0 mm/year. Due to a lack of land hydrological studies, verification of the data obtained was not carried out, but was recommended as a matter for future research in this area.

Keywords: groundwater storage, spatial distribution, surface water storage, soil moisture, GRACE, GLDAS

For citation: Chupin V.R., Yoshe A.K. Evaluating groundwater balance and its spatial distribution as part of NASA GRACE mission for Blue Nile River (Ethiopia, East Africa). *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'* = *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2023;13(1):76-89. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-1-76-89>.

ВВЕДЕНИЕ

Для существования жизни на Земле все виды воды играют важную роль, но подземные воды являются наиболее безопасными, поскольку они процеживаются и очищаются от многочисленных загрязнений слоями почвы и почвенным покровом. Очищенные подземные воды используются для удовлетворения потребностей населения [1, 2]. Нерациональное использование, загрязнение подземных вод представляют серьезную проблему для природы и жизнедеятельности людей [3], что является растущей угрозой для водоснабжения, сельского хозяйства, продовольственной безопасности, промышленного развития и экосистемы нашей планеты в целом [2].

Дефицит и низкое качество воды могут оказать существенное влияние не только на сельскохозяйственное производство и водоснабжение, но и на все аспекты повседневной жизни людей [4]. В течение последнего столетия в связи с быстрым ростом населения, развитием сельского хозяйства, урбанизации и индустриализации спрос и конкуренция в сфере использования ресурсов пресной воды резко возросли [5].

Водопотребление выросло более чем в три раза, в то время как потребление воды на душу населения, начиная с 1950 г., увеличилось всего на 50%. Ситуация усугубляется еще и тем фактом, что вода по-прежнему в значительной степени является общедоступным мировым ресурсом.

Вода, которая находится в зоне насыщения на поверхности почвы, является наиболее доступной для людей [6, 7], а в глубоких водоносных горизонтах она пока недоступна, и на ее доступность влияют различные геоэкономические факторы [8]. Более 2-х млрд людей используют грунтовые воды в качестве основного источника водоснабжения [9], и 278,8 млрд га сельскохозяйственных угодий орошаются грунтовыми водами [6]. Спрос на грунтовые воды в

связи с экономическим ростом и ростом численности населения в будущем будет только увеличиваться [10]. Защита грунтовых вод и управление их использованием в настоящее время осуществляется путем определения потенциальных зон повышения уровня грунтовых вод и производится без оценки их объемов и динамики формирования [11].

Концепция водных ресурсов многомерна [12], не ограничивается только физическим измерением потоков и запасов, но и включает в себя другие, более качественные, экологические и социально-экономические измерения [13]. Однако оценка баланса подземных вод базируется на физической и количественной оценке водных ресурсов. Объем подземных вод оценивается через площадь водных ресурсов и определяется как средний речной сток поверхностных вод плюс подпитка водоносных горизонтов, образующихся в результате осадков [14].

Подземные воды формируются за счет естественного стока в дренажах и водоносных горизонтах [15, 16]. Оценка фактических возобновляемых водных ресурсов учитывает возможное сокращение стока в результате забора воды в верхнем течении.

Возобновляемые водные ресурсы оцениваются на основе естественного круговорота воды, который представляет долгосрочный среднегодовой расход поверхностных и подземных вод. Невозобновляемый водный ресурс – это подземные глубокие водоносные горизонты, имеющие незначительную скорость пополнения в масштабе времени относительно человеческой истории.

На гидрологический водный баланс влияет влажность, удерживаемая на поверхности и в недрах земли [17]. В гидрологии применяются различные методы для оценки потенциала и использования подземных вод [8, 18–20], но они требуют больших площадей измерения и много времени на обработку получен-

ных результатов и поэтому не являются экономически эффективными.

Наиболее эффективным в этом отношении являются методы, основанные на использовании ArcGIS и дистанционного зондирования потенциала подземных вод [21–23]: «методы отношения частот» [24–26], а также многокритериальный анализ принятия решений [27], метод веса доказательств [28, 29], регрессионные логистические методы [8], методы функции доверия доказательствам [30], методы мокрого прохода [11] и др.

Оценка баланса подземных вод является наиболее сложной задачей из-за отсутствия данных об их залегании в глубоких водоносных горизонтах [31, 32].

Чтобы решить эту проблему, используют прямое бурение скважинами и косвенно определяют факторы, влияющие на подпитку водой водоносного горизонта. При высокой пространственно-временной детерминации оценка общей емкости воды и ее составляющих будет способствовать прогнозированию климата, определению периодов засухи и оценки пополнения запасов подземных вод [33, 34]. С появлением GRACE появилась возможность с достаточной точностью оценивать запасы грунтовых вод в мировом масштабе [35–40].

Бассейн р. Голубой Нил (Аббай) является ключевой экономической зоной Эфиопии, характеризующейся интенсивной горнодобывающей, промышленной и сельскохозяйственной деятельностью. Но большая часть речного бассейна расположена в зоне полусухого климата. Повторяющиеся засухи ставят под угрозу водоснабжение и орошение целого региона. Интенсивное использование подземных вод в бассейне р. Голубой Нил в качестве альтернативного источника воды может снизить нагрузку на водоснабжение. В настоящее время отсутствует информация о подземных водах и их использовании в бассейне р. Аббай.

Цель данного исследования – получить точное представление о запасах подземных вод и оценить их объемы для водораздела р. Аббай. Для этого на исследуемой территории был разработан код сбора данных о подземных водах и проведен анализ ежемесячного, годового и сезонного их изменения, сделана оценка пространственного распределения подземных вод и рассчитан их баланс.

Район исследования расположен в северо-западной части Эфиопии на 7°40' северной широты и 12°51' северной широты и 34°25' восточной долготы и 39° 49' восточной долготы, с площадью приблизительно 176 200 км² и перепадом высот от 483 до 4266 мм над уров-

нем моря. Р. Аббай берет начало в высокогорной части Эфиопии от оз. Тана и является основным источником р. Нил.

В верхней части речного бассейна преобладают горные ландшафты, а большинство районов ниже по течению – относительно плоские или слегка волнистые. В бассейне реки имеются различные климатические зоны, обусловленные условиями окружающей среды. Максимальная температура колеблется от 28°С до 38°С, а минимальная температура составляет – 15–20°С.

Как правило, количество осадков в исследуемом районе колеблется от 787 мм до 2200 мм в год, а самое низкое зарегистрированное количество осадков – менее 100 мм/год.

Для оценки запасов подземных вод в бассейне р. Аббай использовались различные данные: влажность почвы и поверхностный сток с исследуемой территории. Был разработан код для сбора данных о подземных водах, проведен их детальный анализ. В итоге собраны и исследованы ежедневные данные о состоянии подземных водах с февраля 2003 по 2010 гг.

Запасы поверхностных и подземных вод является основными параметрами гидрологического цикла водораздела, влияющими на экологическое и климатическое состояние окружающей среды. Общий баланс рассчитывается по уравнению (1):

$$\Delta TWS = \Delta GWS + \Delta SMS + \Delta SRS + WE, \quad (1)$$

где ΔGWS – изменение объемов запаса подземных вод; ΔTWS – изменение объемов запаса наземного хранилища воды; ΔSRS – изменение объемов запаса поверхностного стока; SMS – изменение запаса влаги в почве; SWE – изменение эквивалента снежной воды.

Этапы сбора и обработки спутниковых данных

Сигналы на сфере. Точки $u \in R^2$, в блоке сфере обозначаются S^2 , могут быть параметризованы с двух пунктов с указанием широты $\theta \in [0, \pi]$ и долготы $\varphi \in [0, 2\pi)$, а $u \equiv u(\theta, \varphi)$, $(\sin \theta \cdot \cos \varphi, \sin \theta \cdot \sin \varphi, \cos \theta)$ Широта точки измеряется от положительной оси z, а долгота измеряется от положительной оси x в плоскости x–y.

Комплексно значимые и квадратные фундаментальные емкости (или сигналы), которые характеризуются на единичной сфере, образуют гильбертово пространство $L^2(S^2)$, подготовленное с учетом двух внутренних емкостей $g, h \in L^2(S^2)$, которые определяются следующим уравнением:

$$(g, h) \cong \int_{s^2} g(u) \bar{h}(u) du, \quad (2)$$

где $h(u)$ показывает комплексное сопряжение;
 $u = \sin \theta d\theta d\phi$ – элемент дифференциальной

области на сфере $\int_{s^2} = \int_{\theta=0}^{\pi} \int_{\phi=0}^{2\pi}$.

Сферические гармоники. Для целочисленной степени, большей или равной нулю, и целого порядка $|m| \leq l$, сферические гармонические функции были представлены $Y_{lm}(u) = Y_{lm}(\theta, \phi)$. Сферические гармоники служат полной ортонормированной базисной функцией для гильбертова пространства $L^2(S^2)$ [41], и поэтому сигнальное пространство $g \in L^2(S^2)$ было расширено с использованием сферических гармоник, определяемых уравнением (3):

$$g(u) = \sum_{lm} (g)_{lm} \cdot Y_{lm}(u), \quad \sum_{lm} \equiv \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{m=-l}^l, \quad (3)$$

где $(g)_{lm} \cong (g, Y_{lm})$ являются сферическими гармоническими коэффициентами степеней $l \geq 0, |m| \leq l$. Коэффициент сфериче-

ской гармоники представляет сигнал в области гармоник. Производится ссылка на полосу сигнала f , ограниченную L , если $(f)_{lm} = 0, \nu \geq l$. Набор всех таких сигналов с ограниченной полосой пропускания на сфере из S^2 -мерного подпространства HL от $l^2(S^2)$, и их коэффициент сферической гармоники сохраняется в векторе столбцов L^2 в виде

$$g = [(g)_{0,0}, (g)_{1,1}, \dots, (g)_{L-1,L-1}]^T. \quad (4)$$

Набор данных GRACE предоставляет пространственно-временные данные в гравитационном поле с месячным временным разрешением в виде коэффициента Стокса [42].

Этот набор данных состоит из коэффициентов Стокса C_{lm} и S_{lm} как для целочисленной степени $0 \leq l$, так и для целочисленного порядка $0 \leq m \leq l$.

Коэффициенты Стокса используются для вычисления ежемесячного изменения поверхностной плотности $\Delta \delta$ по единичной сфере [16].

В настоящих исследованиях были использованы ежемесячные оптимизированные данные о Земле для оценки общего объема запасов воды за 2003–2010 гг.

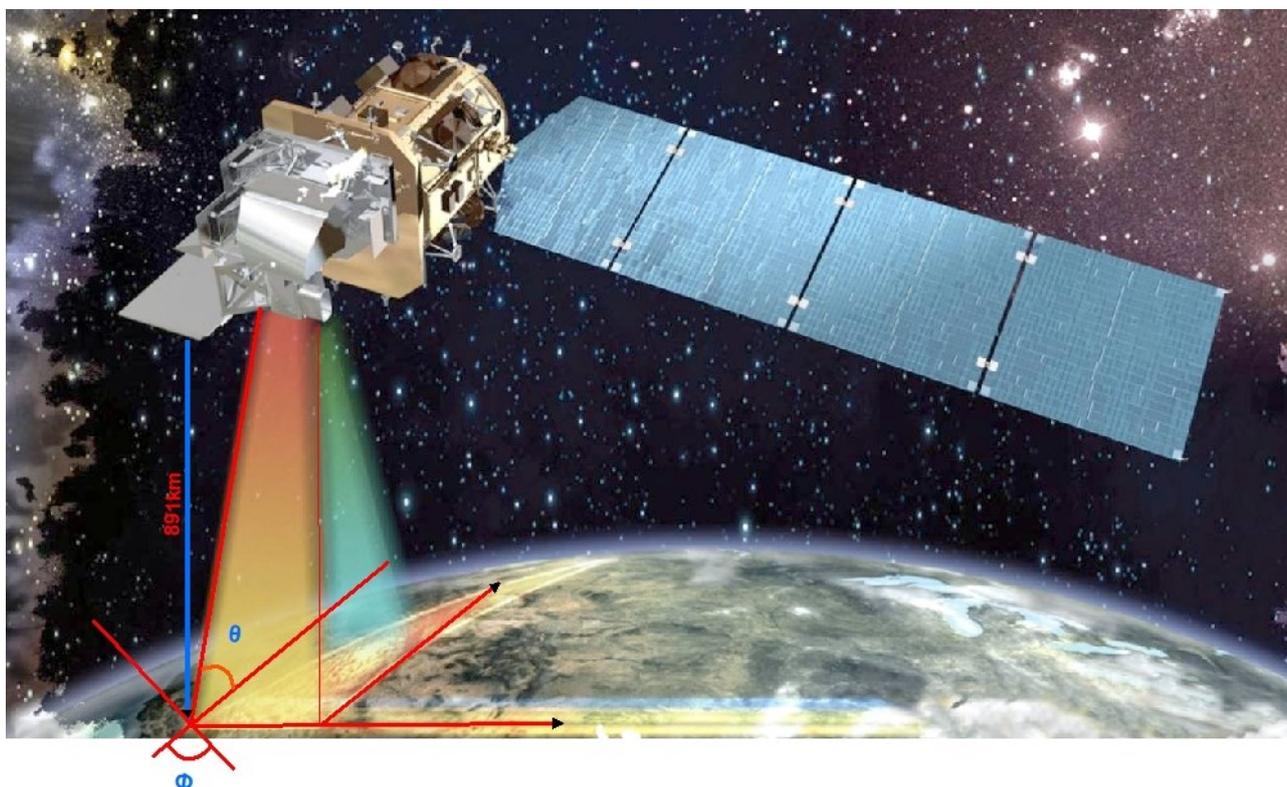


Рис. 1. Принципиальная схема расположения и работы космических аппаратов GRACE
 Fig. 1. Schematic diagram of the location and operation of GRACE spacecraft

Эти наземные данные были основаны на сферических гармонических полях, разработанных центром космических исследований Техасского университета. Этот подход был использован для преобразования коэффициентов Стокса в расчет наземных и подземных запасов вод. Данные GRACE содержат шум и эффекты размытия, которые были устранены путем сглаживания данных с учетом изменения силы тяжести [43].

Чтобы восстановить сигналы, потерянные из-за глобальной фильтрации изображения, использовался масштабный коэффициент вычисления растра, умноженный на изображения GRACE.

Данные GRACE дают среднемесячные аномалии общего запаса воды на уровне водного эквивалента:

$$\Delta\sigma(\theta, \phi) = \frac{\alpha \cdot \rho\alpha}{3} \cdot \sum_{l,m} \frac{2 \cdot l + 1}{1 + X \cdot k_l} \cdot (\Delta \bar{C}_{lm} \cdot X_l^m(\theta) \cdot \cos\theta +$$

$$+ \Delta \bar{S}_{lm} Y_l^m(\theta) \sin\theta$$

где $\alpha = 6371,008$ км – средний радиус земли; $\rho\alpha = 5517 \text{ kg/m}^3$ – средняя плотность земли; K_l^m – число Лява нагрузки в степени l ; $X_l^m(\theta)$ – связанная функция Лежандра [42].

Глобальная система ассимиляции земельных данных (GLDAS)

Оценка влажности почвы и поверхностного стока в системе GLDAS являются очень важными компонентами для оценки подземных вод, которые можно получить только с помощью наземных измерений. Получить точные данные в региональном масштабе сложно, поэтому глобальные гидрологические различия в широком масштабе GLDAS могут сделать гораздо лучше, чем станции, так как используя ассимиляцию данных и передовые методы моделирования поверхности земли GLDAS, создает наборы данных дистанционного зондирования для получения оптимальных характеристик поверхности земли. GLDAS – это глобальная система моделирования, включающая спутниковые и наземные измерения и имеет высокое пространственное разрешение $0,25^\circ$. Используя приведенное выше уравнение (2)–(5), были определены величины изменения влажности почвы поверхностных и снежных вод. Для генерации оптимальной поверхности суши был доступен GLDAS в пространственной области с равноугольным разрешением $0,25^\circ$ [37]. Также были собраны данные о запасах грунтовых вод для GLDAS путем создания для исследуемой области соответствующего кода с помощью движка Google.

Обработав данные GRACE за 2003–2010 гг.,

первый временной из коэффициентов Стокса $C_{lm}^{(t)}$ и $S_{lm}^{(t)}$ был получен путем поиска гравитационных аномалий коэффициентов $C_{lm}^{(t)}$ и $S_{lm}^{(t)}$. Затем коэффициент сферической гармоники был получен путем ограничения диапазона коэффициента Стокса при степени сферической гармоники L для всех неотрицательных порядков m [44]:

$$\Delta(f)_{l,m}(t) = \Delta C_{lm} - i \cdot \Delta S_{lm}(t), \quad (6)$$

где f – вещественный сигнал гравитационной аномалии. Сопряженное соотношение симметрии, заданное как

$$\Delta(f)_{l,-m}^{(t)} = (-1)^m \cdot \Delta \bar{f}_{lm}^{(t)}.$$

Сглаживание рассчитано следующим образом:

$$h(\theta, \phi) = h(\theta) = \frac{K \exp(K \cdot \cos\theta)}{4 \cdot \Pi \cdot \sinh k}. \quad (7)$$

Сглаживание для получения коэффициентов сферической гармоники отфильтрованного сигнала g производилось следующим образом:

$$g_{lm}(t) = \frac{\Pi + 1/2(K)}{\Pi/2(K)} \cdot \Delta(f)_{lm}, \quad (8)$$

где $I_{l+1/2}$ – модифицированная функция Бесселя первого рода полуцелого порядка, а $k > 0$ – константа, управляющая степенью гладкости. Используя отфильтрованные коэффициенты, было рассчитано временное изменение поверхностной плотности земли следующим образом:

$$\Delta\sigma^{(t)}(\theta, \phi) = \frac{R \cdot \rho\alpha}{3} \cdot \sum_{l,m} \frac{2 \cdot l + 1}{1 + k_l} \cdot (g)_{lm}^{(t)} \cdot Y_l^m(\theta, \phi); \quad (9)$$

$$\Delta TWS^{(t)}(\theta, \phi) = \frac{1}{\rho_w} \cdot \Delta\sigma^{(t)}(\theta, \phi). \quad (10)$$

Разделив $\Delta\sigma(t)(\theta, \phi)$ на плотность воды $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$, получим пространственно-временные вариации и в наземных хранилищах воды (TWS) [16].

Для оценки TWS в бассейне р. Аббай были определены средние локальные колебания запасов воды на суше. Для локализации глобального сигнала была предложена функция окна с ограниченной полосой пропускания в пространственной области с оптимальной концентрацией энергии.

Для пространственной локализации TWS в бассейне р. Аббай функция окна была разработана путем решения сферической задачи пространственно-спектральной концентрации, которая максимизирует коэффициент концентрации энергии сигнала с ограниченной полосой пропускания f_{ENL} в пределах пространственной области (R). Коэффициент концен-

трации энергии был рассчитан следующим образом [45]:

$$\lambda = \sum_{l,m} \sum_{p,q} (\bar{f})_l^m \cdot (f)_p^q \cdot K_{lm,pq} = \frac{f^H \cdot kf}{f^H \cdot f}, \quad (11)$$

где $|f(u)|^2 = f(u) \cdot \bar{f}(u)$ ортогональность сферических гармоник на сфере и $(\cdot)^H$ представляет сопряженное транспонирование, а введенная индексация принята для определения $L^2 \times L^2$ матрицы K с элементами

$$K_{lm,pq} \equiv \int_R Y_{lm}(\theta, \phi) \cdot Y_{pq} \cdot \sin \theta \cdot d\theta \cdot d\phi. \quad (12)$$

Максимизация коэффициента концентрации энергии $\lambda = \frac{f^H \cdot kf}{f^H \cdot f}$ эквивалентна решению задачи на собственные значения:

$$Kf = \lambda f. \quad (13)$$

L^2 – собственные функции, ограниченные полосой пропускания на сфере, а собственное значение λ количественно определяет концентрацию энергии, которая связана с собственной функцией s в области R . Собственная функция с максимальной концентрацией использовалась для области, представляющей интерес для локализации сигнала, и относится к оптимальной оконной функции. Для расчета $K_{lm,pq}$ бассейна р. Аббай площадь R была разделена на несколько подобластей широты-долготы (14):

$$\bar{R} \equiv \{(\theta, \phi) : \theta_{k,1} \leq \theta \leq \theta_{k,2}, \phi_{k,1} \leq \phi \leq \phi_{k,2}\}. \quad (14)$$

Для каждой подобласти

$$K_{lm,pq}^2 \equiv \int_R \bar{Y}_l^m(\theta, \phi) \cdot Y_p^q \sin \theta \cdot d\theta \cdot d\phi. \quad (15)$$

или для подобластей:

$$K_{lm,pq}^k = \sum_{m'} \sum_{q'} F_{m',m}^l \cdot Q(m' + q') \cdot S(q - m), \quad (16)$$

где $Q(m)$, $S(m)$ и $F_{m',m}^l$ рассчитываются по следующим формулам:

$$Q(m) = \begin{cases} \frac{1}{4}(i \cdot 2 \cdot m(\theta_{k,2} - \theta_{k,1}) + e^{i \cdot 2 \cdot m \cdot \theta_{k,1}} - e^{i \cdot 2 \cdot m \cdot \theta_{k,2}}, |m| = 1 \\ \frac{1}{m^2 - 1}(e^{i \cdot 2 \cdot m \cdot \theta_{k,1}}(-\cos \theta_{k,1} + i \cdot m \cdot \sin \theta_{k,1}) - \\ - e^{i \cdot 2 \cdot m \cdot \theta_{k,2}}(\cos \theta_{k,1} - i \cdot m \cdot \sin \theta_{k,1}), |m| \neq 1 \end{cases}$$

$$S(m) = \begin{cases} \phi_{k,2} - \phi_{k,1}, |m| = 1 \\ \frac{1}{m}(e^{i \cdot 2 \cdot m \cdot \phi_{k,1}} - e^{i \cdot 2 \cdot m \cdot \phi_{k,2}}), |m| \neq 1 \end{cases} \quad (17)$$

$$F_{m',m}^l = (-i)^m \sqrt{\frac{2 \cdot l + 1}{4 \cdot \Pi}} \cdot \Delta_{m',m}^l \quad (18)$$

где $\Delta_{lmn} \equiv dlmn \left(\frac{\Pi}{2}\right)$.

Используя оптимальное окно, предложенное для бассейна р. Аббай и представленное как Q_{ABRB} , первое наземное хранилище воды (TWS) в бассейне р. Аббай было рассчитано следующим образом:

$$\Delta TWS_{ABRB}^{(t)} = Q_{ABRB}(\theta, \phi) \langle (\theta, \phi) \cdot \Delta TWS^{(t)}(\theta, \phi) \rangle. \quad (19)$$

Далее с течением времени из GLDAS было вычислено второе накопление влаги в почве и эквивалент снежной воды. Данные GLDAS, обозначенные g , были доступны в пространственной области, коэффициенты сферических гармоник были рассчитаны с помощью преобразования сферических гармоник:

$$\Delta g(\theta)_{abbay} = \langle g(t)(\theta, \phi), Y_{lm}(\theta, \phi) \rangle. \quad (20)$$

Затем путем ограничения коэффициента сферической гармоники в степени L и применения гауссового сглаживания оценивалось $\Delta g(t)_{lm}$ следующим образом:

$$\Delta g(t) = \sum_{l,m}^{l=L} \frac{\Pi + 1/2(K)}{\Pi / 2(K)} \cdot \Delta(g)(t)_{lm} \cdot Y(\theta, \phi). \quad (21)$$

Затем выполнялась локализация с использованием предложенного оптимального окна для получения SWE или SMS в бассейне р. Аббай:

$$\Delta g_{wabyABRB} = \langle g^{(t)}(\theta, \phi), Y_{lm}(\theta, \phi) \rangle \quad (22)$$

После нахождения

$$\Delta SWE_{abb}(t)(\theta, \phi) u \Delta SWS_{abb}(\theta, \phi),$$

запасы подземных вод были рассчитаны следующим образом:

$$\Delta g^{(t)}(\theta, \phi) = \sum_{l,m}^{l=L} \frac{I_{l+1/2} \cdot k}{I_{l/2} \cdot k} \cdot \Delta g_{lm}^t \cdot Y_{lm}(\theta, \phi). \quad (23)$$

Далее ежемесячно оценивались изменения запасов воды на суше, влажность почвы, объемы поверхностного стока. В итоге, с помощью уравнения (24) была исследована динамика изменения грунтовых вод во времени:

$$\Delta GWS_{ABRB}^{(t)}(\theta, \phi) = \Delta TWS_{abABRB}^{(t)}(\theta, \phi) - \Delta SWS_{ABRB}^{(t)}(\theta, \phi) - \Delta SWE_{ABRB}^{(t)}(\theta, \phi). \quad (24)$$

На основании проведенных расчетов в исследуемой области выделены четыре временных ряда: весенний сезон (март, апрель, май), летний сезон (июнь, июль, август), осенний сезон (сентябрь, октябрь, ноябрь) и зимний сезон (декабрь, январь, февраль).

Для представления месячных, сезонных и годовых данных на основании метода регрессии был проведен расчет временных трендов [46]. При этом сделано предположение, что ряды данных не имеют последовательной корреляции, и для их оценки можно использовать тест Манна-Кендалла, который применяется для анализа тренда в климатологических и гидрологических временных рядах [47].

В этом тесте нулевая гипотеза H_0 предполагает, что реализации независимы, и монотонный тренд существует во временном ряду. Предполагая, что X_i и X_j являются двумя подмножествами рядов данных, где $i = 1, 2, 3, \dots, n-1$ и $j = i+1, i+2, i+3, \dots, n$.

Статистика Манна–Кендалла S_m может быть представлена следующим образом:

$$S_m = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n (X_j - X_i); \quad (25)$$

$$\text{sign}(X_j - X_i) = \begin{cases} 1, & X_j - X_i > 0 \\ 0, & X_j - X_i = 0 \\ -1 & X_j - X_i < 0 \end{cases}. \quad (26)$$

Дисперсия σ^2 для статистики S_m определяется как

$$\sigma^2 = \left[\frac{n(n-1) \cdot (2 \cdot n + 5)}{18} \right]. \quad (27)$$

Стандартная тестовая статистика Z_s рассчитывается следующим образом:

$$Z_s = \begin{cases} \frac{S_m - 1}{\sigma} & \text{для } S_m > 0 \\ 0 & \text{для } S_m = 0 \\ \frac{S_m + 1}{\sigma} & \text{для } S_m < 0 \end{cases}. \quad (28)$$

Если $|Z_s|$ больше, чем $Z_{100-\alpha}$, (где α представляет выбранный уровень значимости на уровне 5% значимости или 95% доверительный уровень с Z95%), то нулевая гипотеза недействительна, подразумевая, что тенденция значима. Положительные значения статистики Z указывают на тенденцию к увеличению, в то время как отрицательные значения статистики Z представляют отрицательный тренд [48].

Для информационной пары величина наклона определялась следующим уравнением:

$$Q_i = \frac{X_j - X_k}{j - k} \text{ где, } (j > k) \text{ (for } i=1, 2, 3, \dots, N), \quad (29)$$

где X_k и X_j – значения данных за годы k и j , для $j < k$. Если во временном ряду имеется n значений X_i , то для оценки наклона Q_i принимаются целые значения

$$N = n \cdot \frac{n-1}{2}. \quad (30)$$

Оценка наклона Sen – это медиана значений N , которая определяется следующим образом:

$$Q_i = \begin{cases} \frac{(N+1)}{2}, & \text{если } N \text{ нечетно,} \\ Q_{N/2} + Q_{(N+2)/2}, & \text{если } N \text{ четно} \end{cases}. \quad (31)$$

Когда N – четное число, то оценка наклона Sen вычисляется как $Q_{med} = T \cdot \frac{N+1}{2}$, если N нечетное, то оценка наклона рассматривалась как $Q_{med} = Q_{N/2} + Q_{(N+2)/2}$.

Наконец, Q_{med} вычисляется с помощью двустороннего теста со 100% доверительным интервалом, а затем наклон вычисляется с помощью непараметрического теста.

Положительное значение Sen представляет собой тенденцию к увеличению, а отрицательное значение показывает тенденцию к уменьшению во временном ряду. Алгоритм и последовательность обработки спутниковых данных и вычислений представлены на рис. 2.

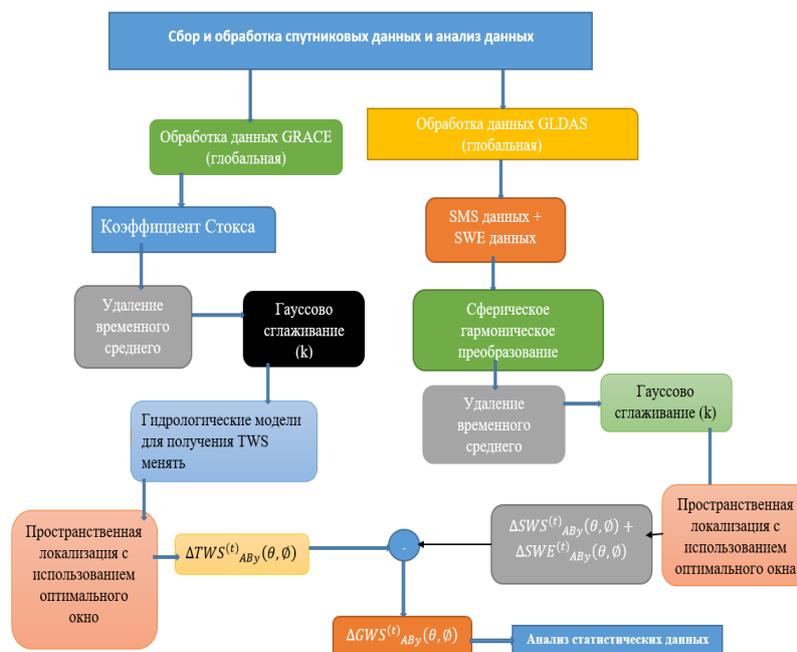


Рис. 2. Последовательность обработки спутниковых данных
Fig. 2. Sequence of satellite data processing

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В этом исследовании для определения и оценки запасов подземных вод в бассейне р. Аббай 2003–2010 гг. значения наземных запасов воды были получены из набора данных GRACE, а влажность почвы и поверх-

ностный сток были извлечены с помощью данных GLDAS. Результаты расчетов, выполненные согласно (1)–(30), представлены на рис. 3, из которого следует, что в бассейне р. Аббай наблюдаются колебания грунтовых вод по временам года.

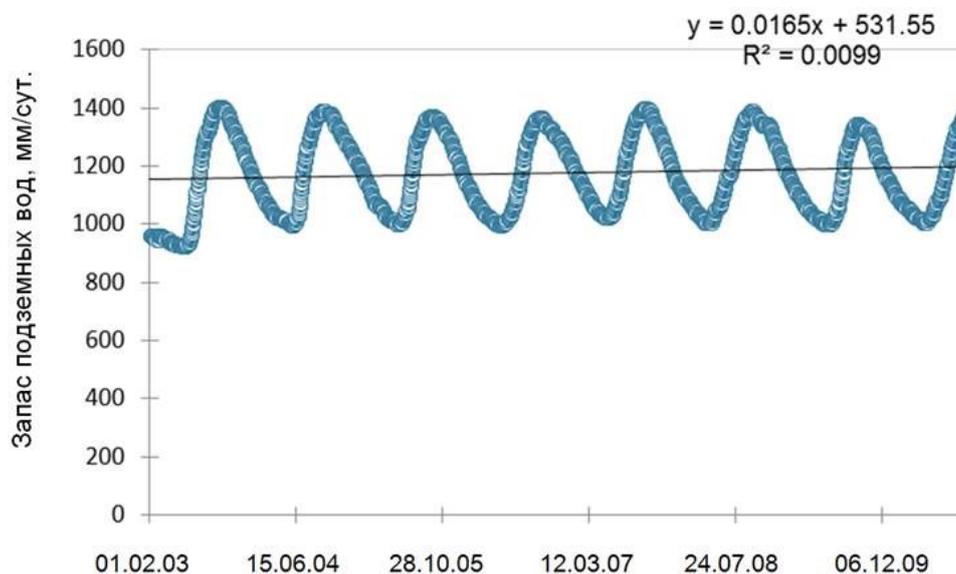


Рис. 3. Накопление грунтовых вод на исследуемой территории за 2003–2010 гг.
Fig. 3. Groundwater accumulation in the study area for 2003-2010

Временные ряды для полученных данных были проверены при уровне значимости 5% и 95% в доверительном интервале от наклона Sen. Статистический результат был обобщен в табл. 1, где указано минимальное значение – 924,978 мм/сут, максимальное – 1403,12 мм/сут и 1176,469 мм/сут запасов подземных вод в исследуемом районе.

При использовании теста тренда Манна–Кендалла (тест с двумя хвостами для хранения) для измерения уровня подземных вод, результат показывает, что наклон тренда

0,049 Кендалла менее 0,0001 р-значения двух хвостов, 2 683 343 229,000 дисперсия при угле альфа, равном 0,05. Наклон Сена был оценен в 0,011, а перехват – в 725,59.

Для дальнейшего анализа и понимания состояния подземных вод в исследуемом районе было выявлено ежемесячное (табл. 2), годовое и сезонное (табл. 3) усредненное значение полученных данных.

Среднее накопление подземных вод с 2003 по 2010 гг. в исследуемом районе представлено также в табл. 3.

Таблица 1. Статистический результат для хранения подземных вод в исследуемом районе
Table 1. Statistical result for groundwater storage in the study area

Переменная	Наблюдения	Обследование с отсутствующими данными	Обследование без пропущенных данных	Min	Max	Значение	Зппп. отклонение
Хранилище подземных вод	2890	0	2890	924,978	1403,120	1176,469	138,641

Таблица 2. Месячный запас грунтовых вод на исследуемой территории в мм в месяц
Table 2. Monthly groundwater supply in the study area in mm per month

Год	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
2003	0,00	954,80	954,70	938,20	927,90	955,95	1151,02	1319,43	1387,61	1387,61	1322,41	1250,01
2004	1168,00	1107,00	1054,00	1022,00	1007,00	1029,33	1217,79	1347,46	1384,69	1367,04	1309,62	1256,54
2005	1197,30	1132,90	1070,00	1031,00	1008,00	1025,73	1189,34	1322,26	1367,96	1348,57	1297,56	1221,94
2006	1142,10	1082,00	1039,00	1013,00	1001,00	1037,55	1144,50	1296,73	1357,82	1344,07	1306,06	1260,76
2007	1197,40	1139,00	1081,00	1038,00	1026,00	1089,66	1236,74	1352,23	1392,75	1357,35	1284,65	1199,05
2008	1123,80	1076,00	1034,00	1009,00	1042,00	1126,54	1228,85	1341,43	1381,52	1353,25	1327,88	1252,84
2009	1172,80	1114,00	1064,00	1028,00	1007,00	1012,31	1122,96	1284,40	1339,48	1315,43	1245,48	1169,00
2010	1110,10	1067,00	1038,00	1014,00	1022,00	1090,05	1203,09	1318,68	1369,68	1347,57	1275,58	1203,77

Таблица 3. Сезонные и годовые запасы подземных вод в исследуемом районе
Table 3. Seasonal and annual groundwater reserves in the study area

Год	Весна	Лето	Осень	Зима	Итого за год
2003	940,32	1142,13	1365,88	477,4	1045,82
2004	1028,26	1198,19	1353,78	1137,74	1189,39
2005	1036,93	1179,11	1338,03	1164,76	1184,47
2006	1018,01	1159,59	1335,98	1112,55	1168,88
2007	1048,86	1226,21	1344,92	1168,22	1199,62
2008	1028,75	1232,27	1354,22	1099,94	1191,54
2009	1033,67	1139,89	1300,13	1143,6	1156,44
2010	1024,85	1203,94	1330,94	1088,62	1171,68

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценка подземных вод с использованием методов точечного измерения в больших масштабах затруднена. Однако в данной работе показано, что эту проблему можно решить путем создания кода для сбора данных о подземных водах для исследуемого района и представления структуры обработки спутниковых данных GRACE и GLDAS. Обработанные данные представляли собой локализованную оконную функцию, ограниченную полосой пропускания в области сферических гармоник и имели максимальную концентрацию энергии в пространственной области. Поскольку размеры окна требуют вычисления интеграла по интересующей области, мы по-

строили оптимальное окно для ABRV, разделив пространственную область на несколько подобластей и выполнив вычисления по каждой подобласти с использованием аналитических выражений. С использованием наземных хранилищ воды, поверхностного стока и влажности почвы были оценены запасы грунтовых вод в бассейне р. Аббай с 2003 по 2010 гг. Полученные результаты являются полезными для лиц, принимающих решения в области водоснабжения, сельского хозяйства и добычи полезных ископаемых. Они позволят управлять водными ресурсами в исследуемом бассейне и оценивать тенденции нехватки воды, вызванной засухой и изменением климата.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ali S., Wang Q., Liu D., Fu Q., Mafuzur Rahaman M., Abrar Faiz M., et al. Estimation of spatio-temporal groundwater storage variations in the lower transboundary Indus Basin using GRACE satellite // Journal of Hydrology. 2022. Vol. 605. P. 127315. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.127315>.
2. Pande C.B. Watershed management and development. In: Sustainable watershed development. Springer briefs in water science and technology. Cham: Springer, 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-47244-3_2.
3. Pande C.B. Introduction. In Sustainable watershed development. Springer briefs in water science and technology. Cham: Springer, 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-47244-3_1.
4. Elliott J., Deryng D., Müller C., Frieler K., Konzmann M., Gerten D., et al. Constraints and potentials of future irrigation water availability on agricultural production under climate change // Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 2014. Vol. 111. No. 9. P. 3239–3244. <https://doi.org/10.1073/pnas.1222474110>.
5. Kinzelbach W., Bauer P., Siegfried T., Brunner P. Sustainable groundwater management – problems

- and scientific tools // Episodes. Journal of International Geosciences. 2003. Vol. 26. No. 4. P. 279–284. <https://doi.org/10.18814/epiugs/2003/v26i4/002>.
6. Berhanu B., Seleshi Y., Melesse A.M. Surface Water and Groundwater Resources of Ethiopia: Potentials and Challenges of Water Resources Development. In: Nile River Basin; Ed.: A. Melesse, W. Abtew, S. Setegn. Cham: Springer, 2014. P. 97–117.
7. Fitts C.R. Groundwater science. Oxford, UK: Elsevier Science, 2002. 450 p.
8. Jha M.K., Chowdary V.M., Chowdhury A. Groundwater assessment in Salboni Block, West Bengal (India) using remote sensing, geographical information system and multi-criteria decision analysis techniques // Hydrogeology Journal. 2010. Vol. 18. P. 1713–1728.
9. Richey A.S., Thomas B.F., Lo M.H., Reager J.T., Famiglietti J.S., Voss K., et al. Quantifying renewable groundwater stress with GRACE // Water Resources Research. 2015. No. 51. P. 5217–5238. doi:10.1002/2015WR017349.
10. Erzin A.E., Hoekstra A.Y. Water footprint scenarios for 2050: A global analysis // Environment International. 2014. No. 64. P. 71–82. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2013.11.019>.
11. Batelaan O., De Smedt F. WetSpa: a flexible, GIS based, distributed recharge methodology for regional groundwater modeling / H. Gehrels, J. Peters, E. Hoehn, K. Jensen, C. Leibundgut, J. Griffioen, et al. (Eds.). Impact of human activity on groundwater dynamics. IAHS Publ. 2001. No. 269. P. 11–17.
12. Li M., Guo P., Ren Ch. Water resources management models based on two-level linear fractional programming method under uncertainty // Journal of Water Resources Planning and Management. 2015. Vol. 141. Iss. 9. P. 05015001. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000518](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000518).
13. Yin J., Tsai F.T.-C. Saltwater Scavenging Optimization under Surrogate Uncertainty for a Multi-Aquifer System // Journal Hydrology. 2018. No. 565. P. 698–710. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.08.021>.
14. Yin J., Tsai F.T.-C. Steady-State Approximate Freshwater–Saltwater Interface in a Two-Horizontal-Well Scavenging System // Journal Hydrology Engineering. 2019. Vol. 24. No. 10. P. 06019008. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001836](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001836).
15. Pham H. V., Tsai F. T.-C. Modeling complex aquifer systems: A case study in Baton Rouge, Louisiana (USA) // Hydrogeology Journal. 2017. Vol. 25. P. 601–615.
16. Wahr J., Molenaar M., Brya F. Time variability of the earth's gravity field: Hydrological and oceanic effects and their possible detection using GRACE // Journal of Geophysical Research: Solid Earth. 1998. Vol. 103. No. B12. P. 30205–30229. <https://doi.org/10.1029/98JB02844>.
17. Khan S., Rana T., Gabriel H.F., Ullah M.K. Hydrogeologic assessment of escalating groundwater exploitation in the Indus Basin // Pakistan Hydrogeol Journal. 2008. Vol. 16. P. 1635–1654. <https://doi.org/10.1007/s10040-008-0336-8>.
18. Israil M., Al-Hadithi M., Singhal D. Application of a resistivity survey and geographical information system (GIS) analysis for hydrogeological zoning of a piedmont area, Himalayan foothill region, India // Hydrogeology Journal. 2006. Vol. 14. P. 753–759. <https://doi.org/10.1007/s10040-005-0483-0>.
19. Todd D.K., Mays L.W. Groundwater Hydrology. 2nd ed. New York: Wiley, 1980. 535 p.
20. Sander P., Chesley M.M., Minor T.B. Groundwater assessment using remote sensing and GIS in a rural groundwater project in Ghana: lessons learned // Hydrogeology Journal. 1996. Vol. 4. No. 3. P. 40–49.
21. Anteneh Z.S., Awoke B.G., Reda T.M., Jothmani M. Groundwater potential mapping using integrations of remote sensing and analytical hierarchy process methods in Ataye-watershed, Middle Awash Basin, Ethiopia // Sustainable Water Resources Management volume. 2002. Vol. 8. No. 183. <https://doi.org/10.1007/s40899-022-00772-4>.
22. Fashae O.A., Tijani M.N., Talabi A.O., Adedeji O.I. Delineation of groundwater potential zones in the crystalline basement terrain of SW-Nigeria: an integrated GIS and remote sensing approach // Applied Water Science. 2014. Vol. 4. P. 19–38.
23. Rodell M., Houser P., Jambor U., Gottschalck J., Mitchell K., Meng C.-J., et al. The global land data assimilation system // Bulletin of the American Meteorological Society. 2004. Vol. 85. No. 3. P. 381–394. <https://doi.org/10.1175/BAMS-85-3-381>.
24. Oh H.-J., Kim Y.-S., Choi J.-K., Park E., Lee S. GIS mapping of regional probabilistic groundwater potential in the area of Pohang City, Korea // Journal of Hydrology. 2011. Vol. 399. Iss. 3–4. P. 158–172. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.12.027>.
25. Siebert S., Henrich V., Frenken K., Burke J. Update of the digital global map of irrigation areas to version 5. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn, Germany and Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, 2013. 171 p.
26. Singh A.K., Prakash S.R. An integrated approach of remote sensing, geophysics and GIS to evaluation of groundwater potentiality of Ojhala sub-watershed. Mirzapur district, UP, India. Asian conference on GIS, GPS, aerial photography and remote sensing. Thailand, Bangkok. 2002. P. 7–9.
27. Kaliraj S., Chandrasekar N., Magesh N. Identification of potential groundwater recharge zones in Vaigai upper basin, Tamil Nadu, using GIS-based analytical hierarchical process (AHP) technique // Arabian Journal of Geosciences. 2014. Vol. 7.

- P. 1385–1401.
28. Pourtaghi Z.S., Pourghasemi H.R. GIS-based groundwater spring potential assessment and mapping in the Birjand Township, southern Khorasan Province, Iran // *Hydrogeology Journal*. 2014. Vol. 22. P. 643–662.
29. Ozdemir A. Using a binary logistic regression method and GIS for evaluating and mapping the groundwater spring potential in the Sultan Mountains (Aksehir, Turkey) // *Journal of Hydrology*. 2011. Vol. 405. Iss. 1–2. P. 123–136. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.05.015>.
30. Nampak H., Pradhan B., Manap M.A. Application of GIS based data driven evidential belief function model to predict groundwater potential zonation // *Journal of Hydrology*. 2014. Vol. 513. P. 283–300. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.02.053>.
31. Cheema M.J.M., Immerzeel W.W., Bastiaanssen W.G.M. Spatial quantification of groundwater abstraction in the irrigated Indus Basin // *Groundwater*. 2014. Vol 52. Iss. 1. P. 25–36. <https://doi.org/10.1111/gwat.12027>.
32. Pande C.B. Sustainable watershed development planning. Part of the Springer briefs in water science and technology book series. Cham: Springer, 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-47244-3_4.
33. Awais M., Li W., Cheema M.J.M., Hussain S., AlGarni T.S., Liu C., et al. Remotely sensed identification of canopy characteristics using UAV-based imagery under unstable environmental conditions // *Environ Technol Innov*. 2021. Vol. 22. P. 101465. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101465>.
34. Shum C.K., Guo J.Y., Hossain F., Duan J., Alsdorf D.E., Duan X.J., et al. Inter-annual water storage changes in Asia from GRACE data. In: *Climate change and food security in South Asia*. Dordrecht: Springer, 2010. https://doi.org/10.1007/978-90-481-9516-9_6.
35. Famiglietti J.S., Lo M., Ho S.L., Bethune J., Anderson K.J., Syed T.H., et al. Satellites measure recent rates of groundwater depletion in California's Central Valley // *Geophysical Research Letters*. 2011. Vol. 38. Iss. 3. <https://doi.org/10.1029/2010GL0464>.
36. Feng W., Zhong M., Lemoine J.M., Biancale R., Hsu H.T., Xia J. Evaluation of groundwater depletion in North China using the gravity recovery and climate experiment (GRACE) data and ground-based measurements // *Water Resources Research*. 2013. Vol. 49. Iss. 4. P. 2110–2118. <https://doi.org/10.1002/wrcr.20192>.
37. Rodell M., Velicogna I., Famiglietti J.S. Satellite-based estimates of groundwater depletion in India // *Nature*. 2009. Vol. 460. P. 999–1002. <https://doi.org/10.1038/nature08238>.
38. Scanlon B.R., Longuevergne L., Long D. Ground referencing GRACE satellite estimates of groundwater storage changes in the California Central Valley, USA // *Water Resources Research*. 2012. Vol. 48. Iss. 4. P. 1–9. <https://doi.org/10.1029/2011WR011312>.
39. Strassberg G., Scanlon B.R., Chambers D. Evaluation of groundwater storage monitoring with the GRACE satellite: case study of the high plains aquifer, central United States // *Water Resources Research*. 2009. Vol. 45. Iss. 5. P. 1–10. <https://doi.org/10.1029/2008WR006892>.
40. Strassberg G., Scanlon B.R., Rodell M. Comparison of seasonal terrestrial water storage variations from GRACE with groundwater-level measurements from the High Plains Aquifer (USA) // *Geophysical Research Letters*. 2007. Vol. 34. No. 14. P. 1–5. <https://doi.org/10.1029/2007GL030139>.
41. Kennedy R.A., Sadeghi P. *Hilbert Space Methods in Signal Processing*. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. 420 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511844515>.
42. Case K., Kruizinga G., Wu S.C. GRACE level 1B data product user handbook. Technical report, JPL D-22027, Jet Propulsion Laboratory. Pasadena, 2010.
43. Duan X.J., Guo J.Y., Shum C.K., van der Wal W. On the postprocessing removal of correlated errors in GRACE temporal gravity field solutions // *Journal of Geodesy*. 2009. Vol. 83. P. 1095–1106. <https://doi.org/10.1007/s00190-009-0327-0>.
44. Shoaib Ali, Dong Liu, Qiang Fu, Muhammad Jehanzeb Masud Cheema, Quoc Bao Pham, Md. Mafuzur Rahaman, et al. Improving the resolution of grace data for spatio-temporal groundwater storage assessment // *Remote Sensing*. 2021. Vol. 13. No. 17. P. 3513. <https://doi.org/10.3390/rs13173513>.
45. Simons F.J., Dahlen F., Wiecek M.A. Spatiospectral concentration on a sphere // *SIAM review*. 2006. Vol. 48. No. 3. P. 504–536. <https://doi.org/10.1137/S0036144504445765>.
46. Tirkey N., Parhi P.K., Lohani A.K., Chandniha S.K. Analysis of precipitation variability over Satluj Basin, Himachal Pradesh, India: 1901–2013 // *Journal of Water and Climate Change*. 2020. Vol. 12. № 1. P. 127–135. <https://doi.org/10.2166/wcc.2020.136>.
47. Sharma P., Machiwal D., Jha M.K. Overview, current status, and future prospect of stochastic time series modeling in subsurface hydrology. New York: Elsevier; 2019. p. 133–151. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815413-7.00010-9>.
48. Timbadiya P.V., Mirajkar A., Patel P., Porey P. Identification of trend and probability distribution for time series of annual peak flow in Tapi Basin, India // *ISH Journal of Hydraulic Engineering*. 2013. Vol. 19. No. 1. P. 11–20. <https://doi.org/10.1080/09715010.2012.739354>.

REFERENCES

1. Ali S., Wang Q., Liu D., Fu Q., Mafuzur Rahaman M., Abrar Faiz M., et al. Estimation of spatio-temporal groundwater storage variations in the lower transboundary Indus Basin using GRACE satellite. *Journal of Hydrology*. 2022;605:127315. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.127315>.
2. Pande C.B. Watershed management and development. In: Sustainable watershed development. Springer briefs in water science and technology. Cham: Springer; 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-47244-3_2.
3. Pande C.B. Introduction. In Sustainable watershed development. Springer briefs in water science and technology. Cham: Springer; 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-47244-3_1.
4. Elliott J., Deryng D., Müller C., Frieler K., Konzmann M., Gerten D., et al. Constraints and potentials of future irrigation water availability on agricultural production under climate change. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 2014;111(9):3239-3244. <https://doi.org/10.1073/pnas.1222474110>.
5. Kinzelbach W., Bauer P., Siegfried T., Brunner P. Sustainable groundwater management – problems and scientific tools. *Episodes. Journal of International Geosciences*. 2003;26(4):279-284. <https://doi.org/10.18814/epiiugs/2003/v26i4/002>.
6. Berhanu B., Seleshi Y., Melesse A.M. Surface Water and Groundwater Resources of Ethiopia: Potentials and Challenges of Water Resources Development. In: Nile River Basin; Ed.: A. Melesse, W. Abtew, S. Setegn. Cham: Springer; 2014. p. 97-117.
7. Fitts C.R. Groundwater science. Oxford, UK: Elsevier Science; 2002. 450 p.
8. Jha M.K., Chowdary V.M., Chowdhury A. Groundwater assessment in Salboni Block, West Bengal (India) using remote sensing, geographical information system and multi-criteria decision analysis techniques. *Hydrogeology Journal*. 2010;18:1713-1728.
9. Richey A.S., Thomas B.F., Lo M.H., Reager J.T., Famiglietti J.S., Voss K., et al. Quantifying renewable groundwater stress with GRACE. *Water Resources Research*. 2015;51:5217-5238. <https://doi.org/10.1002/2015WR017349>.
10. Ericin A.E., Hoekstra A.Y. Water footprint scenarios for 2050: A global analysis. *Environment International*. 2014;64:71-82. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2013.11.019>.
11. Batelaan O., De Smedt F. WetSpa: a flexible, GIS based, distributed recharge methodology for regional groundwater modeling. In: H. Gehrels, J. Peters, E. Hoehn, K. Jensen, C. Leibundgut, J. Griffioen, et al. (Eds.). Impact of human activity on groundwater dynamics. IAHS Publ; 2001. No. 269. p. 11-17.
12. Li M., Guo P., Ren Ch. Water resources management models based on two-level linear fractional programming method under uncertainty. *Journal of Water Resources Planning and Management*. 2015;141(9):05015001. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000518](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000518).
13. Yin J., Tsai F.T.-C. Saltwater Scavenging Optimization under Surrogate Uncertainty for a Multi-Aquifer System. *Journal Hydrology*. 2018;565:698-710. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.08.021>.
14. Yin J., Tsai F.T.-C. Steady-State Approximate Freshwater–Saltwater Interface in a Two-Horizontal-Well Scavenging System. *Journal Hydrology Engineering*. 2019;24(10):06019008. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001836](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001836).
15. Pham H.V., Tsai F.T.-C. Modeling complex aquifer systems: A case study in Baton Rouge, Louisiana (USA). *Hydrogeology Journal*. 2017;25:601-615.
16. Wahr J., Molenaar M., Brya F. Time variability of the earth's gravity field: Hydrological and oceanic effects and their possible detection using GRACE. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. 1998;103(B12):30205-30229. <https://doi.org/10.1029/98JB02844>.
17. Khan S., Rana T., Gabriel H.F., Ullah M.K. Hydrogeologic assessment of escalating groundwater exploitation in the Indus Basin. *Pakistan Hydrogeology Journal*. 2008;16:1635-1654. <https://doi.org/10.1007/s10040-008-0336-8>.
18. Israil M., Al-Hadithi M., Singhal D. Application of a resistivity survey and geographical information system (GIS) analysis for hydrogeological zoning of a piedmont area, Himalayan foothill region, India. *Hydrogeology Journal*. 2006;14:753-759. <https://doi.org/10.1007/s10040-005-0483-0>.
19. Todd D.K., Mays L.W. Groundwater Hydrology. 2nd ed. New York: Wiley; 1980. 535 p.
20. Sander P., Chesley M.M., Minor T.B. Groundwater assessment using remote sensing and GIS in a rural groundwater project in Ghana: lessons learned. *Hydrogeology Journal*. 1996;4(3):40-49.
21. Anteneh Z.S., Awoke B.G., Reda T.M., Jothmani M. Groundwater potential mapping using integrations of remote sensing and analytical hierarchy process methods in Ataye-watershed, Middle Awash Basin, Ethiopia. *Sustainable Water Resources Management volume*. 2002;8(183). <https://doi.org/10.1007/s40899-022-00772-4>.
22. Fashae O.A., Tijani M.N., Talabi A.O., Adedeji O.I. Delineation of groundwater potential zones in the crystalline basement terrain of SW-Nigeria: an integrated GIS and remote sensing approach. *Applied Water Science*. 2014;4:19-38.
23. Rodell M., Houser P., Jambor U., Gottschalk J., Mitchell K., Meng C.-J., et al. The global land

- data assimilation system. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2004;85(3):381-394. <https://doi.org/10.1175/BAMS-85-3-381>.
24. Oh H.-J., Kim Y.-S., Choi J.-K., Park E., Lee S. GIS mapping of regional probabilistic groundwater potential in the area of Pohang City, Korea. *Journal of Hydrology*. 2011;399(3-4):158-172. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.12.027>.
25. Siebert S., Henrich V., Frenken K., Burke J. Update of the digital global map of irrigation areas to version 5. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn, Germany and Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy; 2013. 171 p.
26. Singh A.K., Prakash S.R. An integrated approach of remote sensing, geophysics and GIS to evaluation of groundwater potentiality of Ojhala sub-watershed. Mirzapur district, UP, India. Asian conference on GIS, GPS, aerial photography and remote sensing. Thailand, Bangkok; 2002. P. 7-9.
27. Kaliraj S., Chandrasekar N., Magesh N. Identification of potential groundwater recharge zones in Vaigai upper basin, Tamil Nadu, using GIS-based analytical hierarchical process (AHP) technique. *Arabian Journal of Geosciences*. 2014;7:1385-1401.
28. Pourtaghi Z.S., Pourghasemi H.R. GIS-based groundwater spring potential assessment and mapping in the Birjand Township, southern Khorasan Province, Iran // *Hydrogeology Journal*. 2014. Vol. 22. P. 643-662.
29. Ozdemir A. Using a binary logistic regression method and GIS for evaluating and mapping the groundwater spring potential in the Sultan Mountains (Aksehir, Turkey). *Journal of Hydrology*. 2011;405(1-2):123-136. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.05.015>.
30. Nampak H., Pradhan B., Manap M.A. Application of GIS based data driven evidential belief function model to predict groundwater potential zonation. *Journal of Hydrology*. 2014;513:283-300. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.02.053>.
31. Cheema M.J.M., Immerzeel W.W., Bastiaanssen W.G.M. Spatial quantification of groundwater abstraction in the irrigated Indus Basin. *Groundwater*. 2014;52:25-36. <https://doi.org/10.1111/gwat.12027>.
32. Pande C.B. Sustainable watershed development planning. Part of the Springer briefs in water science and technology book series. Cham: Springer, 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-47244-3_4.
33. Awais M., Li W., Cheema M.J.M., Hussain S., AlGarni T.S., Liu C., et al. Remotely sensed identification of canopy characteristics using UAV-based imagery under unstable environmental conditions. *Environmental Technology & Innovation*. 2021;22:101465. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101465>.
34. Shum C.K., Guo J.Y., Hossain F., Duan J., Alsdorf D.E., Duan X.J., et al. Inter-annual water storage changes in Asia from GRACE data. In: Climate change and food security in South Asia. Dordrecht: Springer; 2010. https://doi.org/10.1007/978-90-481-9516-9_6.
35. Famiglietti J.S., Lo M., Ho S.L., Bethune J., Anderson K.J., Syed T.H., et al. Satellites measure recent rates of groundwater depletion in California's Central Valley. *Geophysical Research Letters*. 2011;38(3). <https://doi.org/10.1029/2010GL0464>.
36. Feng W., Zhong M., Lemoine J.M., Biancale R., Hsu H.T., Xia J. Evaluation of groundwater depletion in North China using the gravity recovery and climate experiment (GRACE) data and ground-based measurements. *Water Resources Research*. 2013;49(4):2110-2118. <https://doi.org/10.1002/wrcr.20192>.
37. Rodell M., Velicogna I., Famiglietti J.S. Satellite-based estimates of groundwater depletion in India. *Nature*. 2009;460:999-1002. <https://doi.org/10.1038/nature08238>.
38. Scanlon B.R., Longuevergne L., Long D. Ground referencing GRACE satellite estimates of groundwater storage changes in the California Central Valley, USA. *Water Resources Research*. 2012;48(4):1-9. <https://doi.org/10.1029/2011WR011312>.
39. Strassberg G., Scanlon B.R., Chambers D. Evaluation of groundwater storage monitoring with the GRACE satellite: case study of the high plains aquifer, central United States. *Water Resources Research*. 2009;45(5):1-10. <https://doi.org/10.1029/2008WR006892>.
40. Strassberg G., Scanlon B.R., Rodell M. Comparison of seasonal terrestrial water storage variations from GRACE with groundwater-level measurements from the High Plains Aquifer (USA). *Geophysical Research Letters*. 2007;34(14):1-5. <https://doi.org/10.1029/2007GL030139>.
41. Kennedy R.A., Sadeghi P. Hilbert Space Methods in Signal Processing. Cambridge: Cambridge University Press; 2013. 420 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511844515>.
42. Case K., Kruijzinga G., Wu S.C. GRACE level 1B data product user handbook. Technical report, JPL D-22027, Jet Propulsion Laboratory. Pasadena; 2010.
43. Duan X.J., Guo J.Y., Shum C.K., van der Wal W. On the postprocessing removal of correlated errors in GRACE temporal gravity field solutions. *Journal of Geodesy*. 2009;83:1095-1106. <https://doi.org/10.1007/s00190-009-0327-0>.
44. Shoaib Ali, Dong Liu, Qiang Fu, Muhammad Jehanzeb Masud Cheema, Quoc Bao Pham, Md. Ma-fuzur Rahaman, et al. Improving the resolution of grace data for spatio-temporal groundwater storage assessment. *Remote Sensing*. 2021;13(17):3513. <https://doi.org/10.3390/rs13173513>.
45. Simons F.J., Dahlen F., Wieczorek M.A. Spatiospectral concentration on a sphere. *SIAM review*. 2006;48(3):504-536.

<https://doi.org/10.1137/S0036144504445765>.
46. Tirkey N., Parhi P.K., Lohani A.K., Chandniha S.K. Analysis of precipitation variability over Satluj Basin, Himachal Pradesh, India: 1901–2013 // *Journal of Water and Climate Change*. 2020. Vol. 12. № 1. P. 127–135. <https://doi.org/10.2166/wcc.2020.136>.
47. Sharma P., Machiwal D., Jha M.K. Overview, current status, and future prospect of stochastic time series modeling in subsurface hydrology. New

York: Elsevier; 2019. p. 133-151. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815413-7.00010-9>.
48. Timbadiya P.V., Mirajkar A., Patel P., Porey P. Identification of trend and probability distribution for time series of annual peak flow in Tapi Basin, India. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*. 2013;19(1):11-20. <https://doi.org/10.1080/09715010.2012.739354>.

Информация об авторах

Чупин Виктор Романович,

д.т.н., профессор,
заведующий кафедрой городского
строительства и хозяйства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: chupinvr@istu.edu
<https://orcid.org/0000-0001-5460-4780>

Йоше Агегнеху Китанбо,

преподаватель кафедры охраны
окружающей среды,
Университет Арба Минч,
г. Арба Минч, Почтовое отделение 21, Эфиопия,
аспирант,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: kitanbo@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-3792-5854>

Information about the authors

Victor R. Chupin,

Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Head of the Department of Urban
Construction and Economy,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: chupinvr@istu.edu
<https://orcid.org/0000-0001-5460-4780>

Agegnehu K. Yoshe,

Lecturer Department of Water Resources
and Irrigation Engineering,
Arba Minch University,
21 Post Office Box, Arba Minch, Ethiopia,
Postgraduate Student,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: kitanbo@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-3792-5854>

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 11.01.2023.
Одобрена после рецензирования 23.01.2023.
Принята к публикации 26.01.2023.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Conflict of interests

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

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

Information about the article

The article was submitted 11.01.2023.
Approved after reviewing 23.01.2023.
Accepted for publication 26.01.2023.



Типологические факторы градостроительного развития неудобных территорий в структуре прибрежных зон г. Иркутска

Д.В. Бобрышев^{1✉}, А.И. Неронова²

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

²«Центр компетенций» при службе архитектуры Иркутской области, г. Иркутск, Россия

Аннотация: В статье рассматриваются основные подходы к организации и развитию неудобных территорий в структуре города. Цель работы – формирование междисциплинарной модели исследования и проектирование городской застройки на территориях речных пойм с высоким уровнем подтопления. Основными задачами исследования являются: выявление факторов оценки градостроительной емкости территорий с различной степенью подтопления; определение принципов повышения градостроительной емкости подтопляемых территорий; формирование приемов градостроительного освоения неудобных территорий с учетом ландшафтно-планировочных факторов организации пойменного комплекса. В работе рассмотрены основные подходы к организации неудобных городских территорий в целом. Однако наибольшее внимание уделено подтопляемым территориям обширных речных пойм с позиций геотехнических, биотехнических и градоморфологических методов организации территории. В работе сформирована методика оценки и трансформации территории методами геопластики, сформулированы основные принципы развития ландшафтно-планировочной структуры городской ткани в условиях обводнения. Итогом работы является модель организации территории, включающая приемы формирования морфотипов городского ландшафта и морфотипов застройки на примере г. Иркутска.

Ключевые слова: прибрежные территории, неудобные территории, подтопляемые территории, городское развитие, типология застройки

Для цитирования: Бобрышев Д.В., Неронова А.И. Типологические факторы градостроительного развития неудобных территорий в структуре прибрежных зон г. Иркутска // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 1. С. 90–100. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-1-90-100>.

Original article

Typological factors of urban development of inconvenient lands in the structure of Irkutsk riparian zones

Dmitriy V. Bobryshev^{1✉}, Anastasia I. Neronova²

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

²"Competence Center" at the Architecture Service of the Irkutsk Region, Irkutsk, Russia

Abstract. The paper considers the main approaches to organization and development of inconvenient lands in a city structure. The aim was to develop an interdisciplinary research model and to design an urban development plan for the territories of floodplains with a high level of flooding. The main objectives of the study consisted in identification of factors for assessing the urban development capacity of territories with various degrees of flooding; determination of principles for increasing the urban development capacity of wetland areas; formation of methods for urban development of inconvenient lands, taking into account landscape planning factors of the floodplain complex organization. The paper considered the main approaches to organizing inconvenient urban areas as a whole. However, most attention was paid to the wetland areas of vast floodplains from the standpoint of geotechnical, biotechnical and urban morphological methods of organizing the territory. The methodology of territory assessment and transformation via methods of geoplastics was developed in the process, and the basic principles

of sustainable landscape-planning pattern of the urban fabric under conditions of flooding were formulated. As a result, a model of territory organization was developed based on the methods of urban landscaping and building morphotypes on the example of Irkutsk.

Keywords: coastal areas, inconvenient territories, flooding areas, urban development, building typology

For citation: Bobryshev D.V., Neronova A.I. Typological factors of urban development of inconvenient lands in the structure of Irkutsk riparian zones. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2023;13(1):90-100. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-1-90-100>.

ВВЕДЕНИЕ

Приречные города, как правило, включают в свою структуру значительную часть неудобных для застройки территорий, освоение которых ведется фрагментарно и хаотично в силу большого количества факторов, ограничивающих интенсивное развитие таких зон. Нарушенные городские территории являются следствием природных и техногенных процессов, разрушающих естественную структуру ландшафта. Они часто являются слабо освоенными и считаются потенциальными резервами развития города. Рациональная организация таких территорий может способствовать повышению социальных, экологических и эстетических качеств городской среды¹ [1–3].

Цели и задачи. Исследования факторов развития неудобных территорий в городской среде всегда находятся на стыке различных дисциплин, поэтому к основной цели данной работы отнесено формирование междисциплинарной модели градостроительной организации неудобных территорий в структуре города.

В этой связи основными задачами градостроительной организации неудобных территорий становятся: определение градостроительной емкости и формирование принципов ее повышения в условиях воздействия опасных природных процессов; разработка приемов ландшафтно-планировочной и архитектурно-планировочной организации неудобных территорий, ведущих к повышению качества городской среды.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В основу классификации неудобных территорий заложены природные и техногенные

процессы, формирующие свойства ландшафтных местоположений, на которых развивается городская застройка² [4].

В структуре долинного комплекса основным процессом, формирующим ландшафты, является деятельность поверхностных и грунтовых вод. Типологически неудобные территории природного происхождения разделяются на водно-эрозионные, образованные преимущественно деятельностью поверхностных вод, и обводненные, сформированные совместным действием поверхностных и грунтовых вод [5, 6].

Анализ существующей ситуации показывает, что такие территории в г. Иркутске преимущественно имеют хаотичную застройку промышленно-складскими объектами, значительное количество пойменных ландшафтов освоено низкоплотной жилой застройкой, остальная часть – это неиспользуемые территории. Вместе с тем, в генеральных планах г. Иркутска обводненные и эрозионные ландшафты часто рассматриваются как резервы социально-экономического развития города³.

Исследования показывают, что в современной теории и практике градостроительства сложились три основных метода преобразования неудобных территорий: геотехнический, биотехнический и градоморфологический [7, 8].

Геотехнический метод направлен на улучшение геофизических качеств ландшафта путем инженерной подготовки территории для последующего освоения. Основная цель геотехники – защита территории от опасных геофизических процессов – достигается посредством формирования искусственных ландшафтных поверхностей (геопластики) и строи-

¹Баймуратова С.Х. Динамика освоения неудобных территорий в структуре крупного города (на примере города Уфы): автореф. дисс. ... канд. арх. 18.00.04. М., 2005. 26 с.

²Бобрышев Д.В. Природный каркас агломерации и ландшафтный потенциал развития ее центрального города (на примере Иркутской области): дисс. ... канд. арх. 05.23.22 "Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов". Иркутск, 2011. 170 с.

³Генеральные планы г. Иркутска 2007–2016 гг. // Admirk.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://admirk.ru/sectors/stroitelstvo/generalnyy-plan-goroda/> (16. 11. 2022)

тельства инженерных сооружений, обеспечивающих геофизическую устойчивость городских территорий.

К основным приемам геотехники относятся: террасирование, выполаживание, обвалование, дренирование и др.

Биотехнический метод заключается в повышении качеств территории за счет формирования растительных покровов, способных повышать устойчивость ландшафтов, подверженных эрозионным и оползневым процессам, улучшать почвенно-грунтовые и гидрологические качества территории, формировать биофильтры. Приемы биотехники определяются в зависимости от решаемых задач. К ним относятся склоноукрепляющие, защитные, мелиоративные посадки, дождевые сады и др.

Градоморфологический метод нацелен на формирование морфотипов городского ландшафта и застройки. К основным задачам относятся:

- определение балансовых характеристик застройки и озеленения, в том числе пределов освоения ландшафта;

- определение формы функционально-планировочной организации городской ткани, соответствующей градостроительному потенциалу и структуре ландшафтных местоположений.

На основе вышеперечисленных методов были сформулированы задачи анализа и проектирования неудобных территорий:

- определение границ ландшафтно-градостроительных ячеек (ландшафтных местоположений) и их градостроительной емкости;

- определение методов повышения емкости при условии обеспечения экологических качеств и безопасности территории;

- определение видов освоения, пригодных для размещения в ландшафтах с различной емкостью;

- определение принципов и приемов планировки и застройки территории в условиях формируемых ландшафтно-градостроительных ячеек.

В данной статье описаны методы исследования и градостроительной организации обводненных территорий.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В основу исследования градостроительной

емкости ландшафта положена классификация ландшафтных местоположений и природных сооружений по типам экологических режимов, а также действующая нормативная база по инженерной подготовке территории.

В качестве базового показателя типологии взята градация местоположений с выделением низких, средних и высоких пойм.

Характер обводнения и, как следствие, возможности градостроительного освоения пойм обуславливаются следующими экологическими режимами: проточностью, дренируемостью и затопляемостью местоположений⁴.

Исследования показывают, что территории, подверженные подтоплению, характеризуются очень низкими показателями дренируемости и слабой проточностью ландшафта в целом вследствие малых уклонов поверхностей к главному дренирующему водоему, малой высоты над уровнем поверхности водоема, большой ширины и расчлененности пойменных комплексов.

Одной из главных характеристик, определяющих возможности освоения территории, является градостроительная емкость [9].

В ходе исследования был предложен метод ранжирования градостроительной емкости неудобных территорий и степени соответствия различных видов использования местоположениям ландшафта (таблица).

В методе сведены основные характеристики ландшафтов, определяющие градоэкологические качества обводненных территорий.

Анализ отечественной и зарубежной практики градостроительной организации неудобных территорий показывает следующие принципы:

1. Принцип сохранения и восстановления естественной дренирующей сети, который в наибольшей степени связан с сохранением малых водотоков и их долинных комплексов в структуре города как элементов экологической сети.

Основополагающими факторами данного принципа являются сохранение и восстановление естественной формы ландшафта и растительных сообществ.

Основным видом использования таких территорий является рекреация различной интенсивности в зависимости от ценности ландшафта и режима охраны.

⁴Киреев Д.М. Эколого-географические термины в лесоведении (словарь-справочник). Новосибирск: Наука, 1984. 182 с.

Определение градостроительной емкости и соответствия видов градостроительного освоения ландшафтными местоположениям
 Determination of urban planning volume and correspondence of types of urban development to landscape locations

Градостроительная емкость	0 – очень низкая	1 – низкая	2 – средняя	3* – высокая
Типы ландшафтных местоположений и степень их геоэкологической опасности	Низкие поймы (предпоймы, старицы). Очень опасные	Средние поймы (бывшие острова, береговые валы). Опасные	Высокие поймы. Относительно безопасные	Надпойменные террасы и коренные склоны. Безопасные
Проточность и дренируемость местоположений	Отсутствует или очень слабая (0)	Слабая (0–1)	Средняя (1–2)	Высокая (2–3)
Подтопление СП 04.13330.2016 Инженерная защита территории от затопления и подтопления	Зоны сильного подтопления с залеганием уровня грунтовых вод, приближающегося к поверхности и сопровождающегося процессом заболачивания и/или засоления верхних горизонтов почвы	Зоны умеренного подтопления с залеганием грунтовых вод в пределах от 0,3–0,7 до 1,2–2,0 м от поверхности с процессами олуговения и/или засоления средних горизонтов почвы	Зоны слабого подтопления с залеганием грунтовых вод в пределах от 1,2–2,0 до 2,0–3,0 м в гумидной и до 5,0 м – в аридной зоне с процессами оглеения и/или засоления нижних горизонтов почвы	Грунтовые воды ниже отметки 3,0–5,0 м
Угроза затопления	25%	1%	отсутствует	отсутствует
Соответствие видов освоения при отсутствии инженерной подготовки	ООПТ** водно-болотного типа, прибрежные парки с низкой интенсивностью освоения	ООПТ водно-болотного, лесо- и лугопаркового типов, городские парки, малоэтажная застройка	ООПТ водно-болотного, лесо- и лугопаркового типов, городские парки, малоэтажная и среднеэтажная застройка	Любые типы освоения

*Характеристика введена в работу как сравнительная, поскольку данные территории не являются неудобными; **ООПТ – особо охраняемые природные территории.

Данный опыт наибольшее распространение получил как инструмент формирования экологической сети города⁵ [10].

2. Принцип открытых дренажных систем (формирование искусственных водоемов, каналов и прудов), позволяющих регулировать водный баланс на подтопляемых территориях. Такой принцип обеспечивает параметры территории, необходимые для размещения раз-

личных типов застройки. Исследование показывает, что оптимальный шаг дренирующих элементов в данных структурах варьируется от 500 до 1000 м. Дренаживание территории при помощи каналов широко распространено в отечественной и зарубежной практике, что в несколько раз увеличивает проточность ландшафта и его градостроительную емкость (рис. 1) [10, 11].

⁵Greenspace Master Plan // City of Ottawa [Электронный ресурс]. URL: <https://ottawa.ca/en/planning-development-and-construction/official-plan-and-master-plans/greenspace-master-plan#section-e59c8d28-42e3-4803-a5f0-66a912fc95b6> (16. 11. 2022);

River Valley Planning Modernization Project. Ribbon of Green and river valley ARP // City of Edmonton [Электронный ресурс]. URL: https://www.edmonton.ca/city_government/initiatives_innovation/ribbon-of-green (17. 11. 2022).



Условные обозначения	
— Улицы городского и районного значения	■ Дренажная сеть прудов
— Улицы в жилой застройке	■ Озеленение
— Проезды	■ Застройка преимущественно общественного назначения
— Река	■ Малоэтажная жилая застройка
	■ Осваиваемые территория под жилую застройку

Рис. 1. Открытая дренажная сеть городской территории, г. Виннипег (Канада)
 Fig. 1. Urban open drainage network, Winnipeg, Canada

3. Принцип осушения за счет закрытых дренажных систем используется преимущественно в локальных случаях для защиты фундаментов зданий и сооружений, автомобильных дорог [12, 13].

Исследования в области градостроительной морфологии позволяют выделить два основных типологических подхода к изучению городской ткани и ее пространственных характеристик: морфотип городского ландшафта и морфотип застройки.

Морфотип городского ландшафта [4, 14] применяется как инструмент обобщения балансовых и планировочных характеристик видов использования и городских функций. Он определяет, главным образом, экологические качества городских территорий за счет соотношения застройки, мощения и озеленения. Основопологающий фактор формирования такого подхода – выявление ландшафтно-градостроительных ячеек, изучение их экологических качеств и принципов освоения.

Морфотип застройки [15, 16] – инструмент всестороннего изучения геометрии городских пространств, формы и типов градостроительных ячеек и решеток на основе различных количественных показателей с учетом ландшафта и исторического развития территории.

В ходе данного исследования была предложена типологическая модель организации обводненных территорий, в основу которой положены принципы ландшафтосообразности градостроительной структуры освоения. Модель включает ряд приемов ландшафтно-планировочной и градостроительной организации территории (рис. 2).

В качестве планировочного модуля предложены две сетки формирования ландшафт-

но-градостроительных ячеек: основная, с шагом осей 1000 м. (максимальная величина шага естественной дренажной сети) и вспомогательная, с шагом осей 500 м. В реальных условиях величина ячеек корректируется в зависимости от структуры ландшафта. В качестве осей выступают естественные и искусственные дренажные системы. В случаях подтопленных пойменных ландшафтов в качестве осей выступают ручьи, старицы и/или дренажные каналы.

Основными задачами ландшафтно-планировочной организации ячеек на уровне основной сетки являются трассировка элементов природного каркаса (основной дренажной системы) и обеспечение проточности данных элементов. В качестве основного принципа организации может быть использована волнистая (складчатая) форма рельефа.

Задача организации территории внутри ячеек – повышение дренируемости местоположения за счет геопластики и планировочной организации морфотипов. В рамках каждой ячейки формируется рельеф, включающий три основных зоны по степени градостроительной емкости и характеру освоения.

Зоны с емкостью 0 занимают преимущественно рекреационные функции, зоны с показателем 1 – малоэтажные низкоплотные жилые образования, зоны с показателем 2 – среднеплотные жилые комплексы, общественные функции.

Таким образом, в границах каждой ячейки предполагается формирование поляризованного морфотипа городского ландшафта (рис. 2). Транспортно-функциональный каркас территории предлагается смещать на наиболее высокие отметки рельефа.

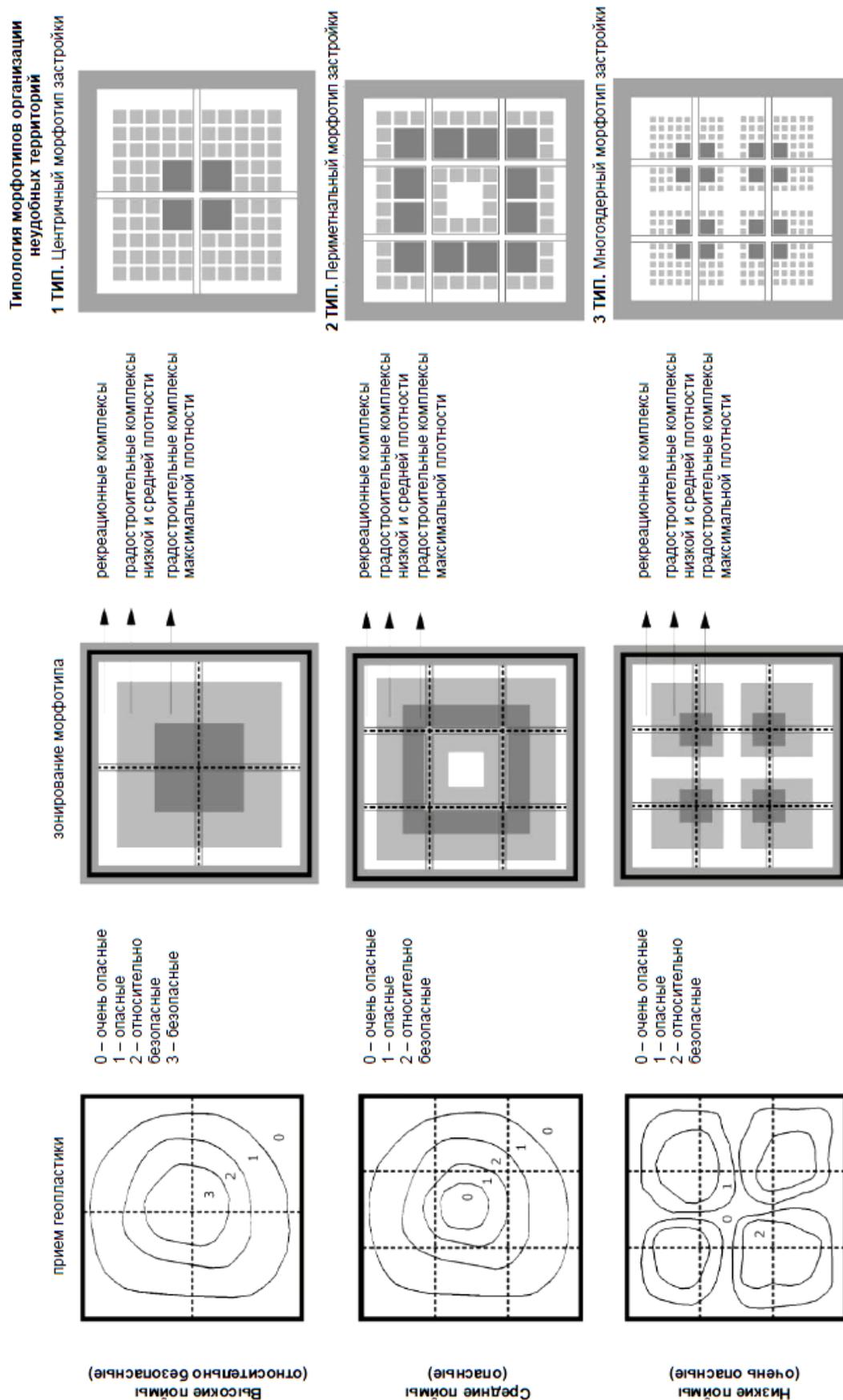


Рис. 2. Модель организации обводненных территорий
Fig. 2. Model of the organization of flooded areas

В зависимости от местоположения и степени изначальной обводненности территории возможно формирование трех основных морфотипов застройки.

Первый морфотип – одноядерный. Формируется в границах основной дренажной сети с одной концентрированной центральной зоной комплексной застройки, периметральным расположением низкоплотной городской ткани. Такой морфотип может формироваться на высоких поймах и береговых валах с общей оценочной градостроительной емкостью 2 и выше.

Второй морфотип – периметральный. Формируется при помощи основной и вспомогательной дренажной сетки, где в качестве вспомогательного дренажа в центральной части размещается пруд или закрытый дренаж. В данном случае более высокоплотная застройка тяготеет к периметральному расположению по отношению к центральной части ячейки. Такой морфотип может формироваться в местоположениях с показателями градостроительной емкости 1 и выше.

Третий морфотип – многоядерный. Также формируется на основе основной и вспомогательной сеток с размещением во внутренней части дополнительных линейных дренажных понижений преимущественно озелененного паркового типа (дождевые сады). Ядра комплексной застройки формируются в центрах дополнительных ячеек.

Для апробации методики была выбрана часть совмещенной поймы рек Ангары и Иркуты в Ленинском районе г. Иркутска. В ландшафтном отношении территория представлена пойменным комплексом, включающим элементы низких и средних пойм, береговых валов, стариц в виде водно-болотных комплексов различной величины. По данным Института географии СО РАН представленная территория имеет различную степень природного и техногенного подтопления, на которой также проходят процессы заболачивания⁶.

По данным генерального плана города большая часть исследуемой территории попадает в 1%-ю зону и частично в 5%-ю зону затопления.

Анализ карт и космических снимков показывает, что на исследуемом участке проводились работы по формированию открытой дренажной сети, состояние которой в настоящий момент можно обозначить как неудовлетворительное вследствие заиления, заболачивания, засыпки отдельных фрагментов и др.

В функциональном отношении на данный момент территория представляет собой смешанную застройку, включающую:

– промышленно-складские комплексы, объекты транспорта, развивающиеся торгово-складские и общественно-деловые зоны, расположенные на наиболее высоких отметках рельефа (искусственных насыпях);

– многочисленные зоны малоэтажной жилой застройки коттеджного, секционного, дачного типов на слабо трансформированных ландшафтах низких и средних пойм.

В городских условиях выявление ландшафтных ячеек значительно затруднено из-за сильно трансформированных ландшафтов. Большая часть элементов экологической сети погребена как природными, так и антропогенными процессами. Тем не менее, часть элементов долинного комплекса может быть определена путем анализа рельефа и космических снимков (рис. 3).

В ходе оценки рельефа были выделены следующие местоположения: низкие поймы, к которым отнесены старые русла р. Иркут, включая крупный водно-болотный комплекс «Птичья гавань» и некоторые прибрежные части рек Ангары и Иркут; к среднепойменным местоположениям отнесены прибрежные части рек, на которых в данный момент расположены кварталы индивидуальной жилой застройки; высокие поймы в данной части города представлены преимущественно насыпными местоположениями с размещенными на них промышленно-складскими зонами и общественными функциями.

В ходе выявления ландшафтно-градостроительных ячеек были определены их границы, в качестве которых выступают остатки старичного комплекса, сохранившегося на территории в виде сети прудов, дренажных каналов и канав (рис. 3). В рамках ячеек была определена структура ландшафта и его градостроительная емкость.

В ходе определения морфотипов городского ландшафта и застройки предложены два основных сценария организации территории:

1. Экстенсивное развитие предполагает формирование элементов природного каркаса основной сетки, расчистку и углубление дренажной сети, обеспечивающей проточность ландшафта, и формирование в пределах ячеек многоядерных морфотипов с частичной трансформацией существующей застройки.

2. Интенсивное развитие, помимо организации структуры дренажной сети, предполагает

⁶Атлас развития Иркутска. Иркутск: Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2011. 131 с.

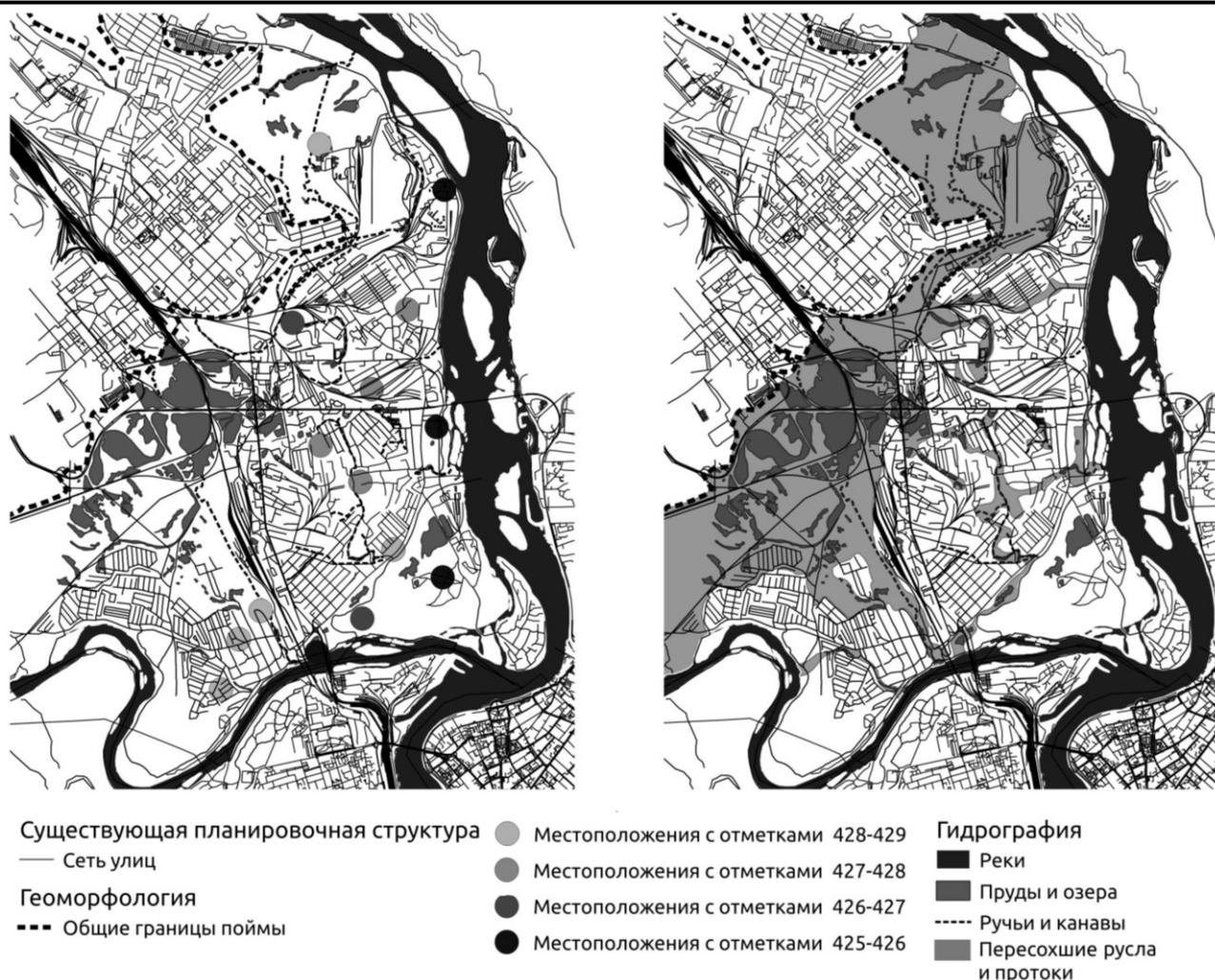


Рис. 3. Современная структура пойменных территорий Ленинского района г. Иркутска
Fig. 3. The modern structure of the floodplain territories of the Leninsky district of Irkutsk

в пределах насыпных территорий высоких пойм организацию одноядерного морфотипа городского подцентра узлового или экспланадного типа вдоль ул. Тракторная. Главным условием возникновения подцентра является доведение отметок насыпи до незатопляемого уровня. В остальных ячейках формируются периметральные и многоядерные морфотипы застройки.

ВЫВОДЫ

Определены подходы к организации удобных территорий в структуре города и выявлены принципы освоения городских терри-

торий в зонах сильного обводнения. Рассмотрены основные задачи формирования планировочной структуры территории с учетом сложившейся формы ландшафта речных пойм. Определены критерии и принципы повышения градостроительной емкости территории в условиях подтопления. Разработаны приемы формирования городской ткани в структуре подтопляемых территорий как морфотипов городского ландшафта и застройки. Предложены сценарии ландшафтно-планировочного развития пойменных территорий Ленинского района г. Иркутска.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Косолапова А.Р., Голощенко А.С., Беломестных С.С. Градостроительный анализ и исследование малокомфортных районов города с высокой долей смешанной и производственной застройки на примере пос. Жилкино // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижи-

мость. 2019. Т. 9. № 4 (31). С. 826–841. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-4-826-841>.
2. Черезова Н. В. Проблемы использования подтопляемых и заболачиваемых территорий на примере городского округа город Тюмень //

International Agricultural Journal. 2021. Т. 64. № 1. С. 26. <https://doi.org/10.24411/2588-0209-2021-10295>.

3. Неронова А.И., Бобрышев Д.В. Градостроительные факторы функционально-планировочной организации неудобных территорий на примере г. Иркутска // Градостроительство. Теория, практика, образование: материалы IV Всерос. науч.-практ. конф. (г. Иркутск, 08 апреля 2022 г.). Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2022. С. 284–290.

4. Бобрышев Д.В. Методика ландшафтно-градостроительного анализа городских территорий // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2013. № 11(82). С. 147–153.

5. Шенькман Б.М., Шолохов П.А., Шенькман И.Б. Подтопление Иркутска грунтовыми водами // География и природные ресурсы. 2011. № 2. С. 54–62.

6. Ушивцева Л.Ф., Соловьева А.В., Ермолина А.В. Воздействие геологических процессов на функционирование объектов инфраструктуры // Геология, география и глобальная энергия. 2016. № 3 (62). С. 49–60.

7. Большаков А.Г. Экологические предпосылки градостроительного проектирования. Иркутск: Иркутский государственный технический университет, 2003. 36 с.

8. Zhang Q., Wu Z., Tarolli P. Investigating the role of green infrastructure on urban waterlogging: evidence from metropolitan coastal cities // Remote Sensing. 2021. Vol. 13. No. 12. P. 2341. <https://doi.org/10.3390/rs13122341>.

9. Баймуратова С., Расулева Ю., Вахитова Г. Взаимодействие природного и антропогенного ландшафтов города // Архйорт. 2015. № 1 (1). С. 63–68.

10. Liu S., Lin M., Li Ch. Analysis of the effects of the river network structure and urbanization on waterlogging in high-density urban areas – a case

study of the pudong new area in Shanghai // Environmental Research and Public Health. 2019. Vol. 16. No. 18. P. 3306. <https://doi.org/10.3390/ijerph16183306>.

11. Kim H., Lee D.-K., Sung S. Effect of Urban Green Spaces and Flooded Area Type on Flooding Probability // Sustainability 2016. Vol. 8. No. 134. <https://doi.org/10.3390/su8020134>.

12. Zhou Q., Panduro T. E. Adaption to Extreme Rainfall with Open Urban Drainage System: An Integrated Hydrological Cost-Benefit Analysis // Environmental Management. 2013. No. 51. P. 586–601. <https://doi.org/10.1007/s00267-012-0010-8>.

13. Шевцова И.М., Игнаткина Д.О., Москвичева Е.В., Быканов И.В. Предотвращение подтопления грунтовыми водами территорий при строительстве (на примере г. Волгограда) // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. № 3 (84). С. 73–85.

14. Большаков А.Г. Культура пространственных решеток в градостроительстве и архитектуре. Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2021. 260 с.

15. Bolshakov A.G., Belomestnykh S.S. Morphogenesis of the street network and quarters of the city of Irkutsk // Urban Form and Social Context: from traditions to newest demands: proceedings of the XXV ISUF International Conference (г. Красноярск, 05–09 июля 2018 г.). Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2019. P. 789–803.

16. Yoshida H., Omae M. An approach for analysis of urban morphology: methods to derive morphological properties of city blocks by using an urban landscape model and their interpretations // Computers, Environment and Urban Systems. 2005. Vol. 29. Iss. 2. P. 223–247. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2004.05.008>.

REFERENCES

1. Kosolapova A.R., Goloschenko A.S., Belomestnykh S.S. Urban planning analysis and the study of uncomfortable areas in cities with a high proportion of mixed and industrial buildings on the example of the zhilkino village. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2019;9(4):826-841. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-4-826-841>.

2. Cherezova N.V. Problems of using flooded and waterlogged territories on the example of the city district of Tyumen. *International Agricultural Journal*. 2021;64(1):26. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/2588-0209-2021-10295>.

3. Neronova A.I., Bobryshev D.V. Urban planning factors of the functional planning organization of inconvenient territories on the example of Irkutsk. *Gradostroitel'stvo. Teoriya, praktika, obrazovanie: materialy IV Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi*

konferentsii = Town planning. Theory, practice, education: Proceedings of the IV All-Russian scientific and practical conference: a collection of scientific papers. 08 April 2022, Irkutsk. Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University; 2022. p. 284-290. (In Russ.).

4. Bobryshev D.V. Methods of landscape and architectural analysis of urban areas. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Proceedings of Irkutsk state technical university*. 2013;11:147-153. (In Russ.).

5. Shenkman B.M., Sholokhov P.A., Shenkman I.B. Flooding of Irkutsk with groundwater. *Geography and natural resources*. 2011;2:54-62. (In Russ.).

6. Ushivtseva L.F., Solovyova A.V., Alnolina A.V. Impact of geological processes on the functioning of infrastructure. *Geology, geography and global energy*. 2016;3:49-60. (In Russ.).

7. Bolshakov A.G. Ecological prerequisites for urban planning. Irkutsk: Irkutsk State Technical University; 2003. 36 p. (In Russ.).
8. Zhang Q., Wu Z., Tarolli P. Investigating the Role of Green Infrastructure on Urban Water Logging: Evidence from Metropolitan Coastal Cities. *Environmental Research and Public Health*. 2019;16:3306. <https://doi.org/10.3390/ijerph16183306>.
9. Baymuratova S., Rasuleva Yu., Vakhitova G. Natural and anthropogenic urban landscapes interaction *Arkhivort*. 2015;1(1):63-68. (In Russ.).
10. Liu S., Lin M., Li C. Analysis of the Effects of the River Network Structure and Urbanization on Waterlogging in High-Density Urban Areas-A Case Study of the Pudong New Area in Shanghai. *Environmental Research and Public Health*. 2019;16:3306. <https://doi.org/10.3390/ijerph16183306>.
11. Kim H., Lee D.-K., Sung S. Effect of Urban Green Spaces and Flooded Area Type on Flooding Probability // Sustainability 2016. Vol. 8. No. 134. <https://doi.org/10.3390/su8020134>.
12. Zhou Q., Panduro T. E. Adaption to Extreme Rainfall with Open Urban Drainage System: An Integrated Hydrological Cost-Benefit Analysis // Environmental Management. 2013. No. 51. P. 586–601. <https://doi.org/10.1007/s00267-012-0010-8>.
13. Shevtsova I.M., Ignatkina D.O., Moskvicheva E.V., Bykanov I.V. Prevention of ground water flooding of territories during construction (for example Volgograd). *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2021;3:73-85. (In Russ.).
14. Bolshakov, A.G. Culture of spatial lattices in urban planning and architecture. Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University, 2021. 260 p. (In Russ.).
15. Bolshakov A.G., Belomestnykh S.S. Morphogenesis of the street network and quarters of the city of Irkutsk. *Urban Form and Social Context: from traditions to newest demands: proceedings of the XXV ISUF International Conference*. 05–09 July 2018, Krasnoyarsk. Krasnoyarsk: Siberian Federal University; 2019. p. 789-803.
16. Yoshida H., Omae M. An approach for analysis of urban morphology: methods to derive morphological properties of city blocks by using an urban landscape model and their interpretations. *Computers, Environment and Urban Systems*. 2005;29(2):223-247. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2004.05.008>.

Информация об авторах

Бобрышев Дмитрий Валерьевич,
кандидат архитектуры,
доцент кафедры архитектуры
и градостроительства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: dbobryshev12@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0003-0509-3149>

Неронова Анастасия Ивановна,
ведущий архитектор отдела
градостроительного проектирования,
«Центр компетенций» при службе
архитектуры Иркутской области,
664025, г. Иркутск, ул. Степана Разина, 27,
оф. 602, Россия,
магистрант,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: neronova.nastya18@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0001-5346-3154>

Вклад авторов

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

Information about the authors

Dmitriy V. Bobryshev,
Cand. of Architecture,
Associate Professor of the Department
of Architecture and Urban Planning,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: dbobryshev12@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0003-0509-3149>

Anastasia I. Neronova,
Architect of the Urban
Planning Department
"Competence Center"
at the Architecture Service of the Irkutsk Region,
602 office, 27 Stepan Razin St., Irkutsk 664025,
Russia,
Master Degree Student,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: neronova.nastya18@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0001-5346-3154>

Contribution of the authors

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 23.12.2022.
Одобрена после рецензирования 16.01.2023.
Принята к публикации 18.01.2023.

Conflict of interests

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

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

Information about the article

The article was submitted 23.12.2022.
Approved after reviewing 16.01.2023.
Accepted for publication 18.01.2023.



Свойство природосообразности кампуса как результат формирования его планировочной модели

А.Г. Большаков

Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Аннотация. Целью работы является исследование планировки и архитектуры кампусов с точки зрения участия в их пространстве природных ландшафтов. Рассматриваются кампусные структуры как пространственные решетки в аспекте их взаимодействия с природными ландшафтами и их компонентами. Изучен опыт проектирования ботанического сада в Колумбии в жарком влажном климате, политехнического университета в г. Бен-Герире в климате Западной Сахары, Российского Дальневосточного федерального университета на о. Русский вблизи г. Владивостока. Выполнен анализ существующей планировки и застройки кампуса Иркутского национального исследовательского технического университета. В результате исследования выявлены научные основы организации взаимодействия кампусов с природой – принципы природосообразности кампуса. Архитектурно-планировочные решетки являются пространственной основой организации кампусов. Ячейками планировочных решеток выступают дворы зданий различного назначения, площади и другие общественные пространства; пешеходные бульвары (моллы) служат связями для ячеек и кампуса в целом. Природосообразность кампуса зависит от степени согласованности ячеек, связей и границ его архитектурно-пространственной структуры с местоположениями рельефа, группами и массивами насаждений, с климатом, светом и водными объектами – ландшафтными пространствами. Свою роль играет ориентация планировки зданий на природные аттракторы – наиболее привлекательные природные ландшафты.

Ключевые слова: кампус, планировочная решетка, ландшафт, открытое пространство, архитектурная ячейка, коммуникативные ландшафты, модульная координация

Для цитирования: Большаков А.Г. Свойство природосообразности кампуса как результат формирования его планировочной модели // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 1. С. 101–118. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-1-101-118>.

Original article

Natural conformity of a campus as a result of modelling its layout

Andrey G. Bol'shakov

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. In this work, we investigate the layout and architecture of campuses in terms of the role of natural landscapes in their space. Campus structures are considered as spatial grids in the context of their interaction with natural landscapes and their components. We studied the experience of designing a botanical garden in Columbia in a hot humid climate, the Polytechnic University in Ben Guerir in the climate of the Western Sahara and the Russian Far Eastern Federal University on Russky Island near Vladivostok. An analysis of the existing layout and development of the campus of the Irkutsk National Research Technical University was carried out. Scientific foundations for arranging interaction between campuses and environmental conditions were determined, referred to as natural conformity principles. Architectural and planning grids are the spatial basis for campus organization. The cells of planning grids are the courtyards of buildings of various purposes, squares and other public spaces. Pedestrian boulevards (malls) connect the cells and the campus as a whole. The natural conformity of the campus depends on the consistency of cells, connections and boundaries of its architectural and spatial structure with the relief, groups and arrays of plantations, as well as with the climate, light and water bodies – landscape spaces. Another important factor is orientation of the building layout to natural attractors, i.e., the most attractive natural landscapes.

© Большаков А.Г., 2023

Том 13 № 1 2023

с. 101–118

Vol. 13 No. 1 2023

pp. 101–118

Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость
Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate

ISSN 2227-2917

(print)

ISSN 2500-154X

(online)

Keywords: campus, planning grid, landscape, open space, architectural cell, communicative landscapes, modular coordination

For citation: Bol'shakov A.G. Natural conformity of a campus as a result of modelling its layout. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2023;13(1):101-118. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-1-101-118>.

ВВЕДЕНИЕ

Кампусы университетов являются значимыми градообразующими объектами. Их роль важна не только в воспроизводстве кадров высшей квалификации, но и в формировании комфортной и благополучной городской среды. К сожалению, в пространственной морфологии кампусов мы видим множество случайных процессов, практику несогласованного, с точки зрения геометрии пространства, размещения строительных объектов.

В состав университетских комплексов входят учебные и лабораторные корпуса, технопарки, общежития для студентов, жилье для преподавателей, спортивные сооружения, рекреационные пространства, объекты культурно-бытового обслуживания и общепита. Некоторые университетские комплексы формируются на единой площадке по единому пространственному замыслу, что является верным, а некоторые разбросаны по городу своими частями, что приносит неудобства студентам и преподавателям. Иногда кампусы, расположенные на единой площадке и структурированные по заранее разработанному плану, в результате случайных процессов в ходе длительного времени эксплуатации, будучи изначально организованными, получают черты хаотичности и несогласованности, что создает проблему.

Под согласованностью и упорядоченностью в формировании кампуса мы понимаем как эффективные связи, логику в сообщениях частей кампуса друг с другом (учебы, работы, жилья, отдыха, социально-бытового обслуживания), так и упорядоченность отношений кампуса с природным и городским ландшафтом.

Цель исследования – выявить принципы пространственного согласования кампуса и его частей как между собой, так и с природным ландшафтом и его отдельными компонентами.

МЕТОДЫ

Планировочные решетки получают, когда к построенной ячейке – клетке – добавляют в проекте еще одну или более ячеек, а множество клеток связывают коммуникативными связями: коридорами, холлами, двора-

ми, улицами – в зависимости от масштаба планировочной решетки (дом или квартал). Такие коммуникативные элементы как дворы или улицы, бульвары, моллы служат также рекреационным и санитарно-гигиеническим целям, если они озеленены, и по ним нет доминирующего магистрального автомобильного движения. Природоориентированным концепциям градостроительства и архитектуры кампусов посвящены работы [1–3]. В исследовании использованы следующие методы моделирования решеток.

Первый метод: формирование массопустотной схемы [4]. Идея А.Г. Габричевского относительно массопустотной схемы состоит в том, что ядром архитектурного объекта автор справедливо считает пространство для жизнедеятельности человека внутри здания. Это пространство называется помещением или группой помещений и в пространственном смысле представляет собой выгороженную пустоту, вокруг которой сформирована архитектурная оболочка в виде стен, перекрытий, кровли. Оболочка и ядро находятся в определенных отношениях, и эти отношения идентифицируют объект.

Второй метод представляет собой модульное формирование объекта. Модули позволяют координировать размеры помещений и зданий [5].

Так, в традиционном японском доме раскладка матрацев – татами с габаритами 90x180 см дает в итоге соразмерность помещений, т.е. управляется с помощью этого модуля. Об использовании ортогональной сетки при формировании архитектурных объектов пишет, в частности, Н.Л. Павлов [6].

В европейской традиции известен модуль, предложенный Ле Корбюзье, – это фигура человека, вытянувшего руку вверх, что дает квадрат со стороной 220 см [7]. Архитектор предлагал его использовать в назначении габаритов помещений. Укрупненные планировочные модули в советском градостроительстве устанавливали шаг районных магистралей – 600 м. В решетках жилых улиц городов применялись габариты кварталов, равные 60 м, 100 м, 200 м и более. Независимо от того, в каких числах выражаются конкретные

размеры элементов, нас интересует баланс ячеек разного назначения, в том числе застроенных и открытых ячеек в общей модели планировки.

Андреас Дюани предложил идею трансектного планирования, иными словами, градиента плотностей застройки, как они меняются от урбанизированного ядра до территорий села, с большими долями открытого ландшафта [8]. При базовом модуле $M = 6$ м для координации ячеек кварталов и зданий с ландшафтными ячейками кампусов выбирается планировочный модуль со стороной 10–14 м. В детальном выражении это согласуется с параметрами зданий; в целом и кратном выражении – с планировочными элементами, в том числе с городскими ландшафтами.

Третий метод – «соединить–раздвинуть ячейки», или регулирование связности. При попытке формализации самих планировочных решеток и их связей с природными ландшафтами важно определять, как конфигурационные свойства решеток зависят от характера и степени их связности [9].

Некоторые области решетки должны быть тесно связаны и предпочтительно короткими связями, а некоторые области должны, наоборот, быть расположены с разрывом между ними. И степень связности зависит, в свою очередь, от степени центральности мест [10].

Центральность в нашем случае зависит от конфигурации наиболее популярных маршрутов движения и планировки их взаимодействия, включая пересечения. От операции «соединить – раздвинуть» ячейки зависит во многом эффективность работы кампуса. Жилые кварталы, общежития должны находиться на коротких связях. Соответствующие ячейки должны быть сближены.

Взаимодействующие между собой учебные и научные корпуса тоже должны быть сближены. Кампус как функционально-планировочный комплекс, как никакая другая градостроительная единица позволяет сбить места работы и места проживания (а также места проживания и места учебы) [11]. При этом если на территории кампуса имеются ценные природные ландшафты или парки, бульвары, то к ним допускается только пешеходное движение, и магистральные транспортные улицы и автопарковки должны быть удалены от этих ландшафтов.

Четвертый метод – «замкнуть–раскрыть границы», или регулирование границ. Профессор А.В. Крашенинников изучает организацию пространственных структур разных масштабов: микро-, мезо- и макропространства [12].

Микропространство предназначено и имеет размер для межличностного общения. Мезопространство – это группа кварталов или микрорайон, предназначенный для жизнедеятельности людей, объединенных социальными условиями, например, школой в микрорайоне.

Макропространство имеет размерность городского района. Размерность обусловлена пешеходной доступностью. Границы могут затруднять движение, могут его исключать, могут быть визуально прозрачными или непрозрачными. Существуют анизотропные границы, которые пропускают взгляд или перемещение в одну сторону, но закрывают проницаемость в обратную сторону.

Кампус имеет масштаб мезопространства. Он объединяется социальными связями между местами проживания, с одной стороны, и местами учебы и работы – с другой. В жилой среде границы имеют разный характер в зависимости от способа компоновки зданий: дома башенного типа и строчная застройка лишает застройку дворов. Они становятся проходными. Квартально-периметральная застройка получает двор. В случае с кампусом это клуатр с обязательным озеленением. Границы помогают регулировать в застройке кампуса изоляцию частных (жилых) зон и при этом открывать и обеспечивать доступ к общественным зонам. Учебные и научные корпуса работают в большей части в закрытом режиме. В то же время есть помещения, в которые открыт доступ публике.

Профессор Ю.С. Янковская отмечает, что границы и пути движения в здании могут быть обратимыми, т.е. как в одну сторону, так и обратно, могут быть необратимыми, когда вход по одному маршруту, а выход по другому маршруту, и дифференцированными [13], которые сочетают оба подхода.

В целом перечисленные методы модификации геометрии планировочных решеток дают возможность согласовывать планировочные объекты с природными ландшафтами и оптимизировать связность элементов решетки между собой, что позволяет достигать баланса застройки и открытого природного пространства.

Открытые природные пространства работают как коммуникация и как компенсатор экологических диссонансов в структуре кампуса, а также повышают его эстетический потенциал [14].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Ниже на примерах ряда кампусов рассмотрены пространственные модели упорядочения как их внутренней структуры, так и

отношений кампуса с природной средой, с последующим выявлением принципов повышения их природосообразности.

Природа в архитектуре и архитектура в природе на примере ботанического сада в Колумбии

В решетке квартала, в плане крупного здания, в кампусе, часть планировочных элементов могут взять на себя роль природного каркаса и благодаря им решаются задачи экологии (влияния объекта на окружающую среду) и санации (оздоровления внутренней среды объекта). Ключевым экологическим и saniрующим элементом в планировке выступает озелененные ячейки с насаждениями как природного, так и рукотворного происхождения.

Соответственно, положение о природосообразности планировочных решеток распадается на два:

- 1) урбанизированный объект в природной среде;
- 2) природные объекты внутри построенной среды.

В 2006 г. архитектурная фирма «План Б» в составе Фелиппе Меса и Алехандро Бернала совместно с архитектурной фирмой «JPRCR» в составе Жан Кристоф Петило, Камилло Рестрепо и Жана Поля Рестрепо разработали проект павильона в ботаническом саду в г. Медельин (Колумбия)¹.

Архитектурное сооружение представляет собой плиту полигональной структуры, опирающуюся на 14 опор (рис. 1).

В центрах опор сделаны посадки орхидных растений. Ячейки плиты и решетка в целом имеет гексагональную геометрию. Шесть гексагонов диаметром около 8 м каждый образуют вокруг опоры подобие цветка или зонтика (рис. 2), высота которого более 14 м – 12 м высота опоры и 2 м толщина структурной плиты гексагона (рис. 3). Габариты навеса по разным направлениям достигают 24–40 м. Расчлененный контур навеса окружен древесными насаждениями. Внешний природный ландшафт проникает клиньями в контур сооружения.

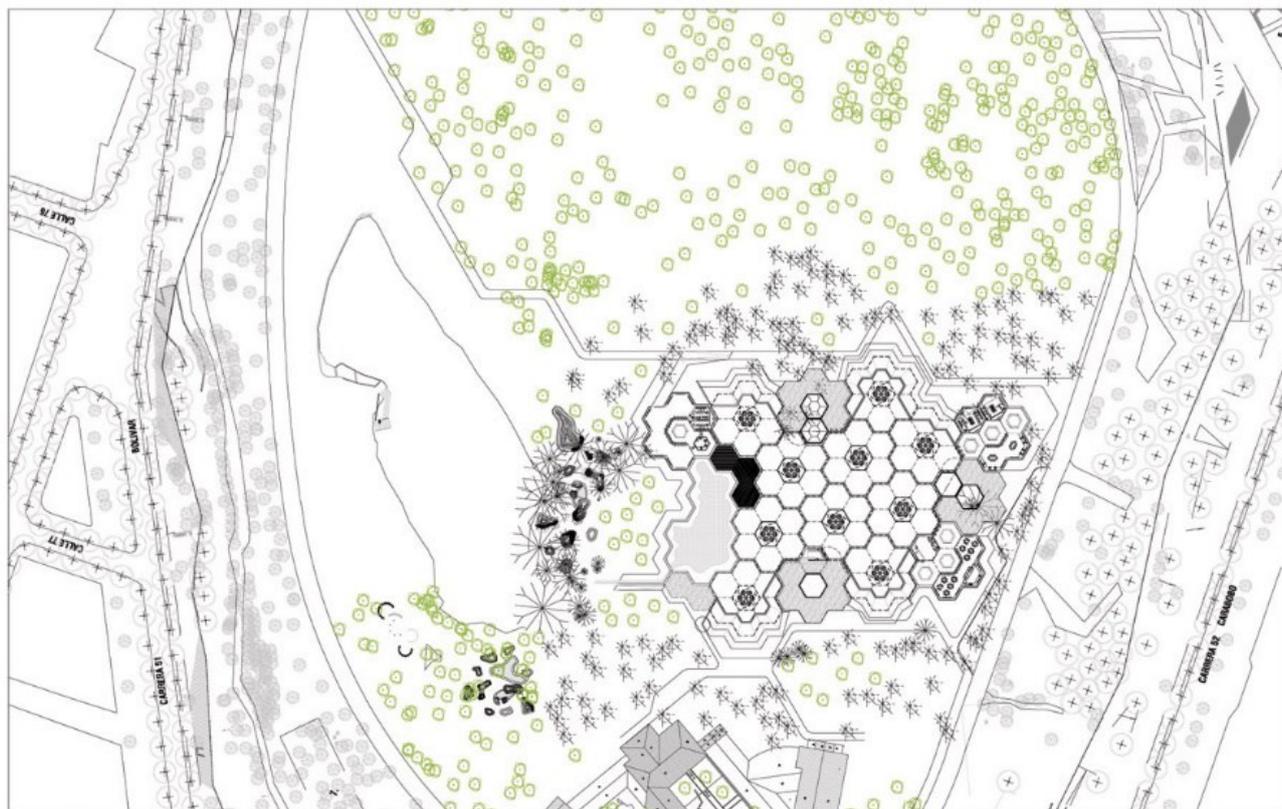


Рис. 1. Генеральный план ботанического сада в г. Медельин (Колумбия), 2006 г.

Fig. 1. The general plan of the Botanical Garden of Medellín, Colombia, 2006

¹Orquideorama. Plan B Architects + JPRCR Architects" 17 мая 2008 года // ArchDaily.
URL: <https://www.archdaily.com/832/orquideorama-plan-b-architects-jprcr-architects> (20.10.22).

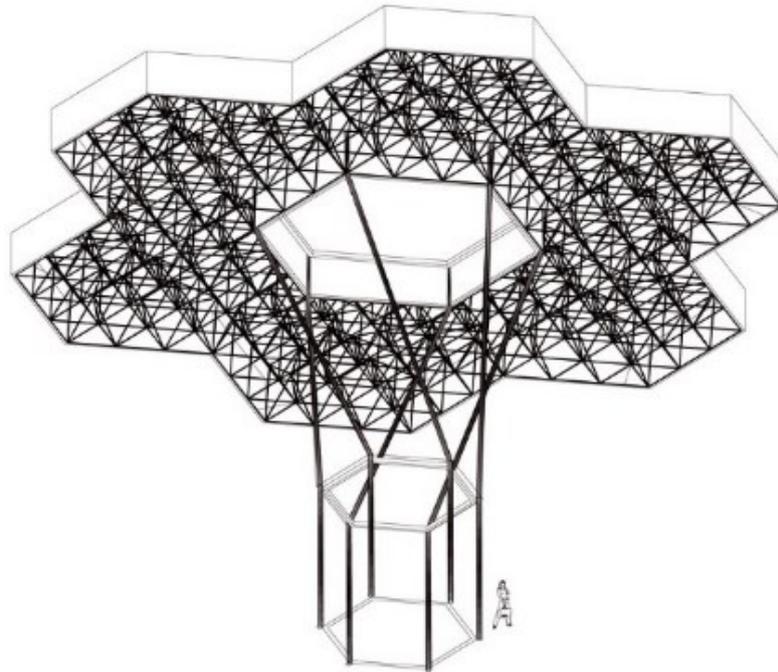


Рис. 2. Аксонометрия отдельного «зонтика» с шестью лепестками – ячейками из структурно-стержневых плит
Fig. 2. Axonometry of a separate "umbrella" with six lobes – cells of structural core plates

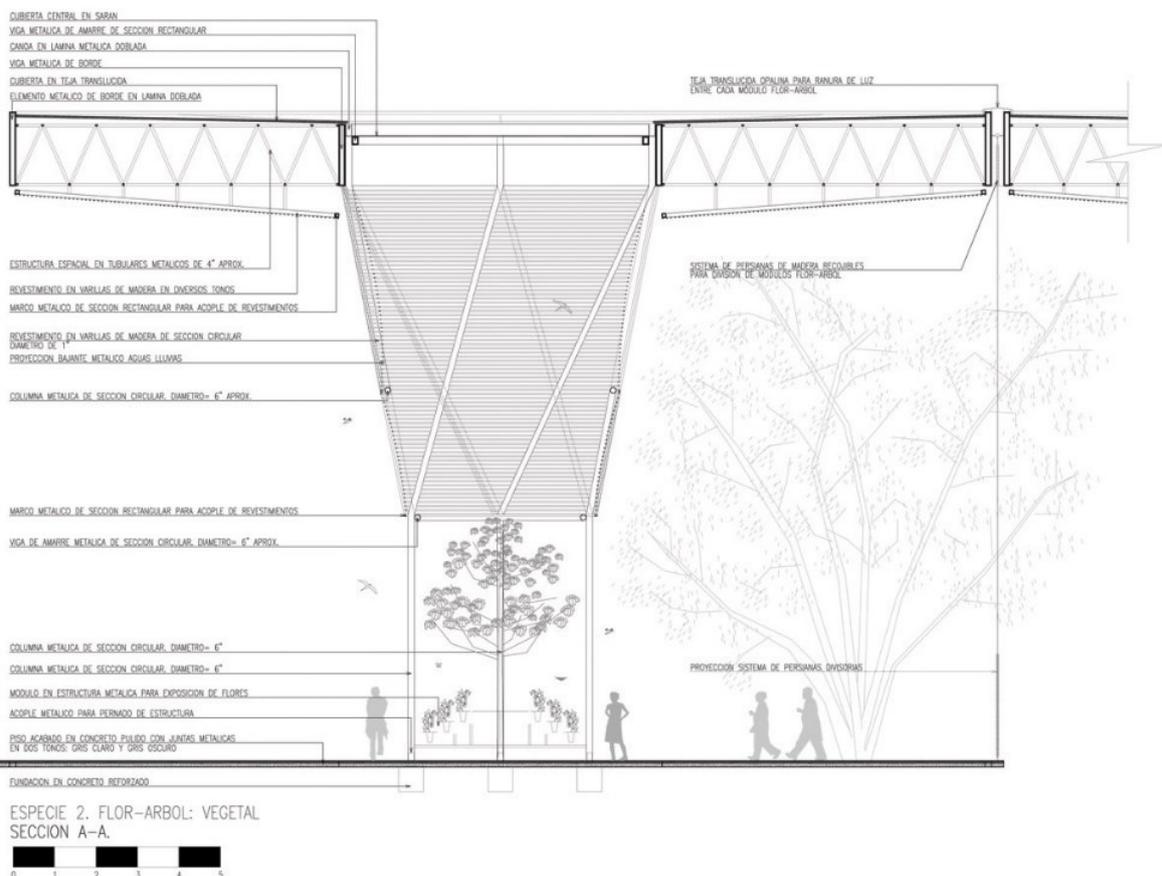


Рис. 3. Разрез по опоре и навесу над ботаническим садом университета в г. Медельине
Fig. 3. Section on the support and canopy over the Botanical Garden of the University in Medellin

Из приведенного примера видно, что природа внутри и природа снаружи включена в структуру гексагональной решетки. И природные объекты пространственно организуются по законам геометрии архитектурного сооружения. Этот прием можно назвать «соорганизация внешнего и внутреннего пространства» за счет гексагональной решетки. Внешний ландшафт втягивается в расчлененный контур

сооружения. Ландшафт внутри подчиняется узлам гексагональной решетки – на площадках внутри пространственных опор диаметром более четырех метров понизу (посадки орхидных растений) и раскрытому навстречу воздуху и солнцу проему порядка 8 м диаметром поверху, на крыше (рис. 4 и 5). Эти проемы и опоры как воронки затягивают вовнутрь сооружения внешнее природное пространство.



Рис. 4. Общий вид расположения павильона орхидей в ботаническом саду университета г. Медельин
Fig. 4. General view of the location of the orchid pavilion in the Botanical Garden of the University of Medellin



Рис. 5. Интерьер павильона орхидей в ботаническом саду университета г. Медельин
Fig. 5. Interior of the orchid pavilion in the Botanical Garden of the University of Medellin

Компоновка ячеек и связей на примере кампуса Марокканского политехника

Испанский архитектор Рикардо Бофилл спроектировал и в 2016 г. построил первую очередь кампуса политехнического университета частной компании по производству фосфатов в г. Бен Герир, близ Маракеша (Марокко). Кампус, рассчитанный на 4500 студентов и 500 аспирантов [15], занимает 55 га (рис. 6). Генеральный план кампуса университета представлен на рис. 6, где видна четкая компоновка решетки кампуса. Участок имеет форму квадрата. Главный вход и въезд осуществляется с восточной стороны, которая выделяется дугой автодороги-дублера, по которой осуществляется въезд на территорию кампуса.

По собственно центральной пешеходной оси расположено шесть зданий в виде каре квадратной формы. Это учебные корпуса, выстроенные вдоль пешеходной улицы. Въездная группа зданий состоит из библиотеки, ис-

следовательского центра, центра управления в промышленности, спортивного центра. За библиотекой располагается центральная площадь, которую защищает от палящих лучей солнца пергола, на генплане она показана тремя черными квадратиками, расположенными по диагонали в квадратном контуре площади. По обе стороны от полосы учебных корпусов располагаются озелененные пространства – спортивные площадки и площадки отдыха. Также озеленение предусмотрено между магистральной дорогой и восточной стороной кампуса.

Зеленые пешеходные моллы, кроме спортивной и рекреационной, ещё выполняют экологическую функцию, как и озелененные дворы «колледжей» или факультетов (рис. 7). На модели вида сверху по краям кампуса расположены панели кварталов общежитий. Дома общежитий также решены в виде каре. Блоки разделены на 4–8 спальные ячейки, каждая ячейка имеет свой санузел.



Рис. 6. Генеральный план кампуса Марокканского политехнического университета в г. Бен Герир (Марокко), 2011–2017 гг.

Fig. 6. The general plan of the campus of the Moroccan Polytechnic University in Ben Guerir, Morocco, 2011–2017



Рис. 7. Компонка кварталов и моллов кампуса UM6P Марокканского университета
Fig. 7. Layout of blocks and malls of the UM6P campus of the Moroccan University

По космическому снимку видно, что блоки учебных корпусов габаритом 60X60, как и блоки общежитий (рис. 8).

Панели учебных корпусов и панели блоков общежитий расположены параллельно. Их

разделяют открытые пространства моллов и спортивных площадок шириной 120 м, т.е. связь между учебным корпусом и корпусом общежития короткая, минимально равная 120 м.

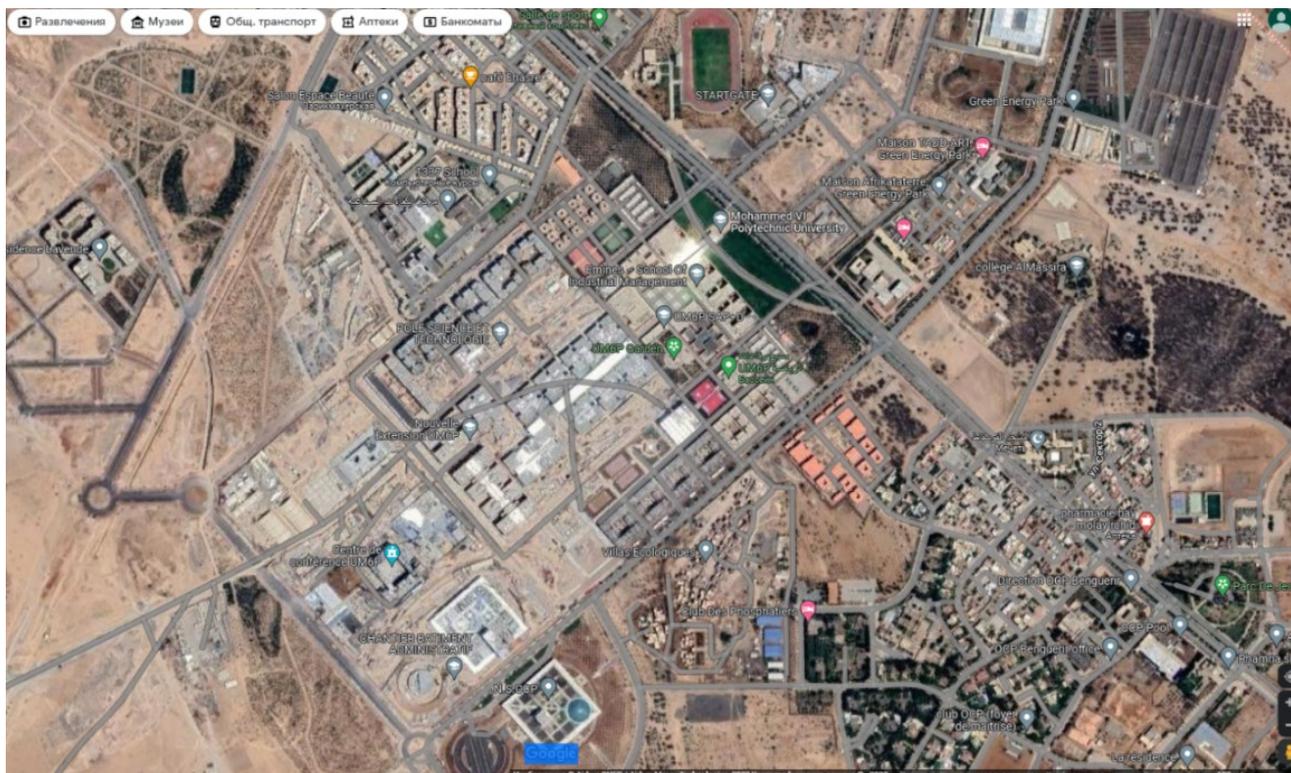


Рис. 8. Космический снимок кампуса марокканского политехника в г. Бен Герир. Современное состояние, 2022 г.

Fig. 8. Satellite image of the campus of the Moroccan Polytechnic in Ben Guerir. Current state, 2022

Главная площадь при въезде, покрытая перголой, того же модульного габарита 60x60, соединяется с главной пешеходной улицей, проложенной по продольной оси между учебными блоками. Улица также перекрыта сверху перголой. Компоновка квадрата со сторонами порядка 540x540 м квадратными модулями 60x60 оказывается суперкомпактной.

Это необходимо в условиях жаркого и сухого климата пустыни. К юго-востоку добавился квартал института архитектуры, планиро-

вания и дизайна. На южной окраине к площадке примыкает административное здание фирмы-владельца университета, производящей фосфатные удобрения. Центральный пешеходный мол – узкая улица – перекрыта от перегрева.

В завершении молла добавились по сравнению с первым генпланом многоэтажные учебно-исследовательские корпуса. Сложную перголу на центральной площади можно увидеть на рис. 9.



Рис. 9. Вид перголы над центральной площадью кампуса
Fig. 9. View of the pergola above the central square of the campus

Массо-пустотные отношения и ориентация по странам света на примере кампуса ДВФУ

Кампус Дальневосточного федерального университета (ДВФУ) проектировали в Гипрогоре и в институте ЦНИИЭП жилища². Архитектурно-планировочная организация застройки территории кампуса ДВФУ была определена Проектом планировки п.о. Саперный о. Русский (2008 г.). Этот проект разрабатывался в ОАО «Гипрогор» с привлечением ЦНИИП градостроительства (главный архитектор проекта К.Ф. Неустроев). На основе общего решения проекта планировки территории ЦНИИЭП жилища разработал в 2008–2009 гг. комплекс зданий ДВФУ (руководители и авторы проекта М.Ю. Горбанёв, С.Б. Звенков, А.Н. Горелкин и др.) [16]. Первое место в номинации «Лучший реализованный проект комплексного развития территории» по итогам «Конкурса на лучшие реализованные проекты» Национального объединения проектировщиков (2013 г.) Руководители проекта: А.В. Острецов, М.Ю. Горбанев; генеральный план застройки – С.Б.Звенков, А.Н. Горелкин,

А.И. Мельник (главный архитектор г. Владивостока); учебные корпуса ДВФУ: архитекторы – Ю.Г. Буров, А.В. Степанов, А.А. Соколовская, Н.Ю. Лесникова; конструкторы – А.Б. Вознюк, С.С. Болдырев; гостиничные корпуса ДВФУ: архитекторы – В.Н. Голубов, А.Г. Лесников, В.А. Чурилов; конструкторы – А.Б. Вознюк, Р.Н. Бакиев, Н.В. Писарьков; спортивно-оздоровительный комплекс и ландшафтно-парковая зона: архитекторы – А.В. Крюков, В.А. Чурилов, С.Б. Звенков; конструкторы – А.Б. Вознюк, Р.Н. Бакиев, С.С. Болдырев³. Руководители авторского коллектива: В.М. Острецов, С.В. Николаев (ОАО «ЦНИИЭП жилища»), А.И. Агаларов (ЗАО «Крокус Интернэшнл»).

Характеристики объекта: конструктивная схема – каркасная, рамно-связевая; наружные конструкции – стальные; площадь застройки – 200 га; общая площадь объектов – 900 000 м². Основу планировочного решения составляет дуга застройки, расположенная в верхней части естественного амфитеатра вокруг бухты Аякс (рис. 10). Общий вид кампуса ДВФУ представлен на рис. 11⁴.

²Освоение острова Русский – урбанистический мегапроект. об уникальном опыте от первых лиц // Архитектурный вестник [Электронный ресурс]. URL: <http://archvestnik.ru/2014/08/22/osvoenie-ostrova-russkiy-urbanisticheskiy-megaproekt-ob-unikalnom-opyte-ot-pervyh-lic/> (21.10.22).

³Проект строительства Дальневосточного федерального университета // ЦНИИЭП жилища [Электронный ресурс] URL: <https://ingil.ru/project/view?id=60> (21.10.22).

⁴ДВФУ. Об университете. Планы расположения помещений в корпусах // Дальневосточный федеральный университет [Электронный ресурс]. URL: <https://www.dvfu.ru/about/campus/layout-plans-of-the-rooms-in-the-buildings/building-a/> (21.10.22).

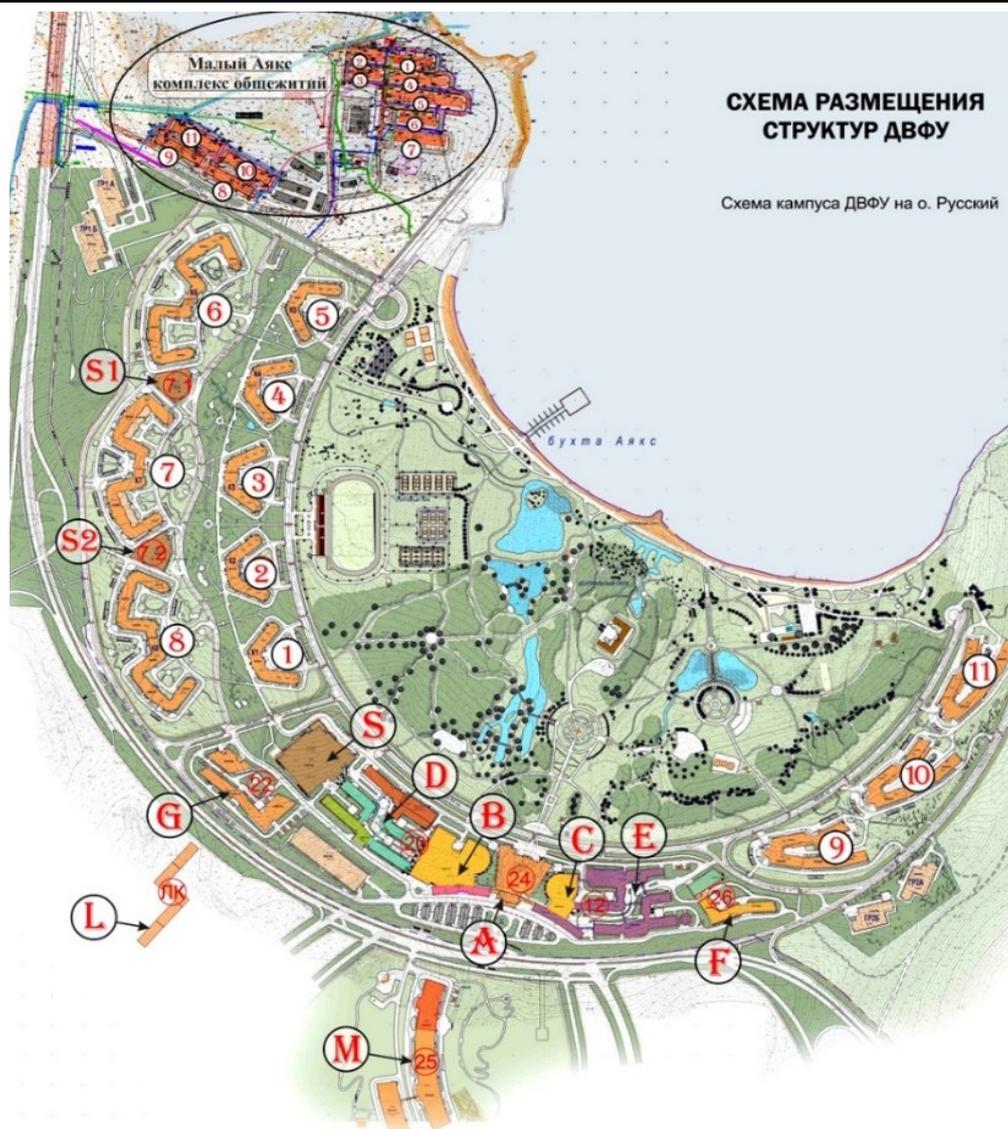


Рис. 10. Генеральный план ДВФУ, 2008–2009 гг.

В составе дуги расположены: А – студенческий центр; В – ректорат, департаменты, службы проректоров, залы переговоров; С – учебный корпус Инженерной школы; D – учебный корпус: юридическая школа, школа естественных наук, школа региональных международных исследований; Е – учебный корпус инженерная школа; F – школа гуманитарных наук, школа искусств, культуры и спорта, школа педагогики; G – школа экономики и менеджмента, школа искусства, культуры и спорта, инженерная школа; L – лабораторный корпус; M – школа биомедицины в учебном блоке, медицинский и реабилитационный центры; S – спортивный комплекс, школа искусства, культуры и спорта; S1, S2 – физкультурно-оздоровительные комплексы; 1–5 – гостиничный комплекс северный, гостиницы I типа; 6–8 – гостиничный комплекс северный, гостиницы типа II; 9–11 – гостиничный комплекс южный, гостиницы типа III

Fig. 10. FEFU Master Plan, 2008-2009.

The arc includes: A – student center; B – Rector's office, Departments, vice-rectors' services, meeting rooms; C – Engineering School academic building; D –academic building: law School, School of Natural Sciences, School of Regional International Studies; E – engineering school academic building; F - School of Humanities, School arts, Culture and Sports, school of Pedagogy; G – school of Economics and Management, school of Art, Culture and Sports, engineering school; L – laboratory building; M – school of biomedicine in the educational block, medical and rehabilitation centers; S – sports complex, school of art, culture and sports; S1, S2 – sports and recreation complexes; 1-5 - severny hotel complex, type I hotels; 6-8 – northern hotel complex, type II hotels; 9-11 – southern hotel complex, type III hotels

Характерными чертами массо-пустотных отношений в этой пространственной структуре являются:

– охват широкой дугой амфитеатра бухты, который представляет собой озелененный вогнутый пологий склон;

– различия в плотности застройки по дуге: в центре располагаются учебно-лабораторные и административные корпуса с большой плотностью застройки, тесным расположением учебных корпусов, по северной и южной оконечностям дуги плотность застройки снижается в разы (см. рис. 11).

Относительно ориентации можно сказать, что доминирует ориентация на природный аттрактор – бухту.

Все виды из окон и раскрытие дворов гостиц в северной части дуги расположено в сторону бухты.

Причем это подчеркнуто V-образной конфигурацией ячеек. Ориентация по сторонам света для проектировщиков стала второстепенной.

Ориентация на природный аттрактор стала приоритетной по отношению к вопросу прямой

солнечной инсоляции. Большинство морских фасадов ориентированы на северо-запад и северо-восток.

За счет расположения на рельефе с перепадом более двух этажей, а также за счет того, что здание на второй линии по отношению к фронту набережной на 4 этажа выше, чем здание на первой линии, расположенное перед ним.

В центральном здании кампуса сформирована главная пустота – самое впечатляющее пространство атриума (см. рис. 12 и 13). Использование этого пространства ситуативно меняется, соответственно, оборудование его также меняется.

На снимке (рис. 12) запечатлен процесс написания всероссийского диктанта по русскому языку.

Общая высота атриума в главном корпусе превышает 45 м. Этот вертикальный столб воздуха разбит на четыре уровня.

Каждый высотой в среднем более 10 м. При этом пустое пространство от пола до третьего уровня не прерывается, но лишь сужается на втором уровне.



Рис. 11. Общий вид кампуса ДВФУ в бухте Аякс на о. Русский, 2008–2009 гг.
Fig. 11. General view of the FEFU campus in Ajax Bay on Russky Island, 2008–2009.



Рис. 12. Атриум в студенческом центре ДВФУ
Fig. 12. Atrium in the FEFU Student Center

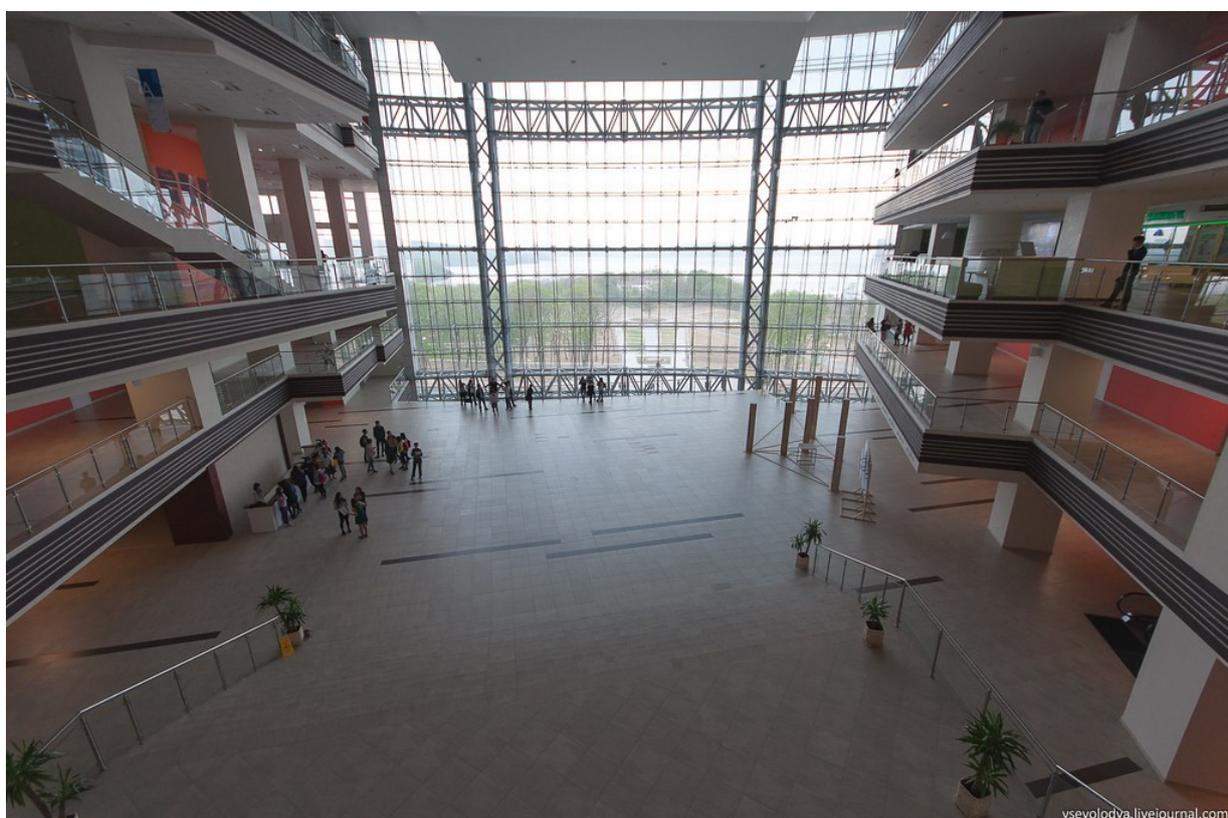


Рис. 13. Атриум в студенческом центре уровнем выше, с видом на парк в бухте Аякс
Fig. 13. Atrium in the student center on the level above, with a view of the park in Ajax Bay

Читальный зал располагается выше уровня пола нижнего вестибюля на 36 м, а над ним – еще один атриум высотой порядка 10 м. Такой каскад атриумов, расположенных на одной вертикальной оси, связанных между собой лестницами, эскалаторами и лифтами, втягивает в здание огромное количество «воздуха» и имеет сложную интересную конфигурацию, что формирует ощущение простора, усиливающееся за счет прозрачной стеклянной стены, через которую виден парк и бухта Аякс.

Коммуникативная и рекреационная роль озелененных ландшафтов на примере кампуса ИРНИТУ

Коммуникативную и рекреационную роль организации ландшафта рассмотрим на при-

мере кампуса Иркутского национального исследовательского технического университета (ИРНИТУ). В 1959 г. решением Совета министров РСФСР была выделена площадка 100 га в Свердловском районе г. Иркутска и разработан проект кампуса Иркутского политехнического института. Площадка располагается на восточном склоне Кайской горы в примыкании к левому берегу р. Ангары. К началу строительства института была уже построена Иркутская ГЭС, в 5 км выше по течению. К тому времени ни сама площадка, ни территория левобережья до плотины ГЭС не была застроена. Склон Кайской горы имеет уклон как в сторону Ангары, так и в сторону седловины между Студгородком и Академгородком (рис. 14).

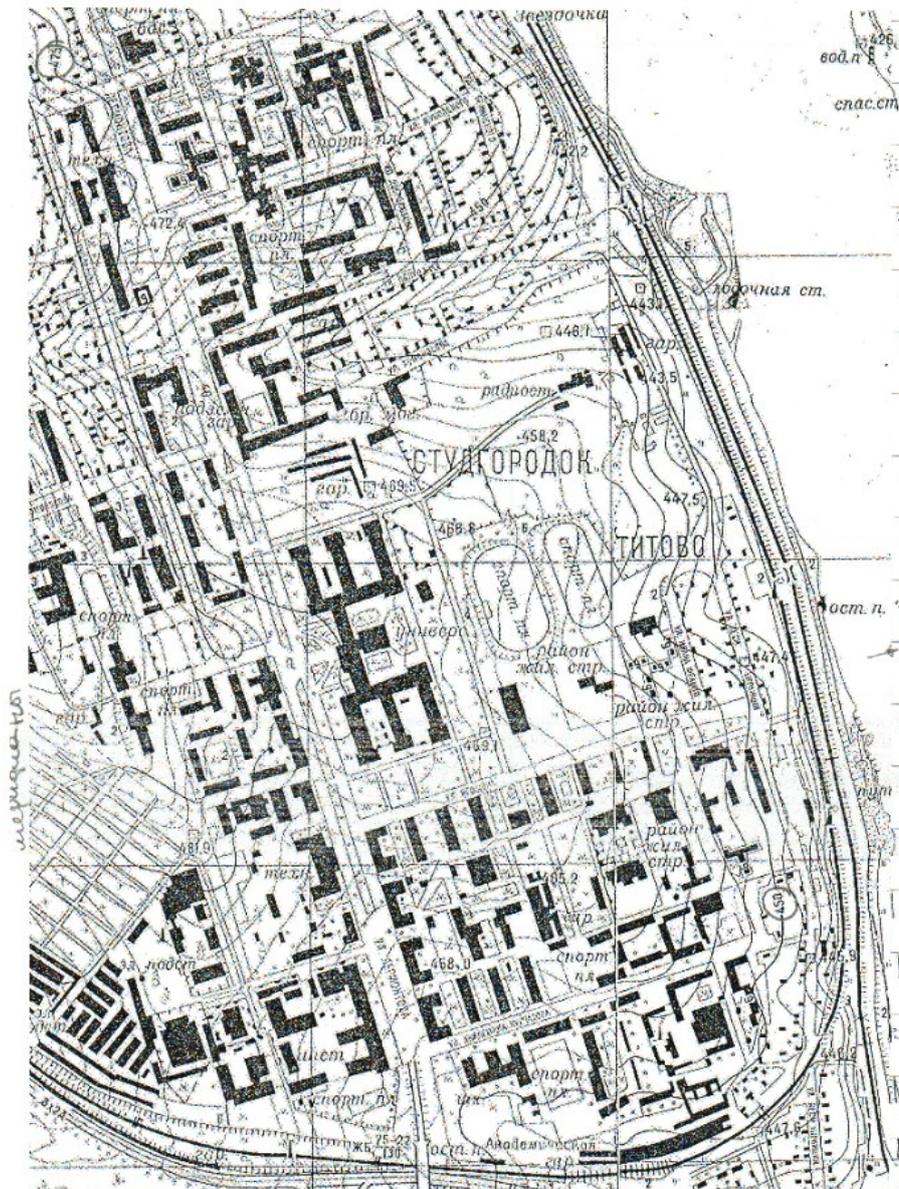


Рис. 14. Топография Студгородка в г. Иркутске
Fig. 14. Topography of the Campus in Irkutsk

Развитию кампуса ИРНИТУ была посвящена работа [17]. Кампус ИРНИТУ (Студгородок) расположен на юго-восточном склоне Кайской горы (рис. 14). Гора (холм) омывается водами р. Ангары (левый берег), по урезу воды отметка 426 м. На севере и на юге площадка ограничена распадками – эрозионными долинами временных водотоков. На юге условно назовем ручья Академический. В створе северного ручья проходит жилая ул. Ломоносова. Западной границей площадки

служит магистраль городского значения ул. Лермонтова. Главный учебно-лабораторный корпус ИРНИТУ располагается на локальной вершине – на водоразделе между вышеперечисленными ручьями и площадь перед главным входом в университет находится на отметке 475 м. Перепад между площадкой главного корпуса и урезом воды составляет около 50 м. По берегу проходит ТрансСиб, огибающий Кайскую гору, и уходит в направлении Улан-Удэ – Владивосток.

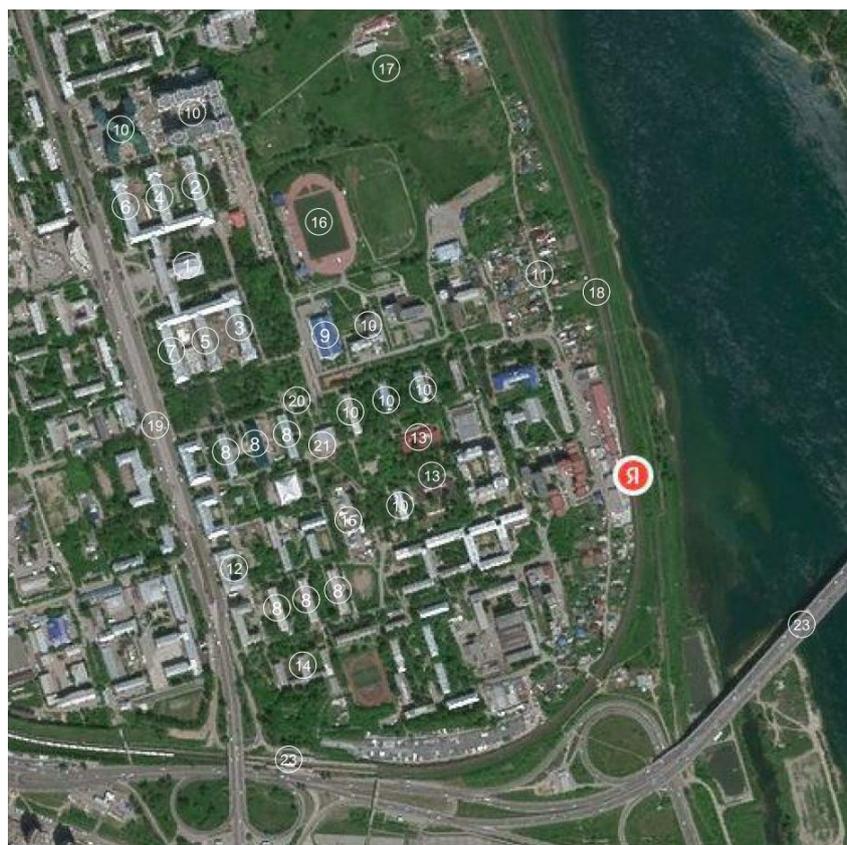


Рис. 15. Функциональное зонирование и планировка студгородка, г. Иркутск:
1 – учебно-лабораторный корпус; 2 – архитектурно-строительный институт;
3 – горно-физико-технический институт; 4 – кибернетики и энергетики;
5 – химико-металлургический и геологический; 6 – физики и инженерной графики;
7 – авиамашиностроения; 8 – общежитие студенческое; 9 – технопарк;
10 – жилой дом многоквартирный; 11 – жилые дома односемейные по ул. Леси Украинки;
12 – поликлиника; 13 – детский сад; 14 – школа; 15 – гаражи; 16 – стадион; 17 – антенное поле (резервная территория); 18 – железная дорога – ТрансСиб; 19 – ул. Лермонтова;
20 – ул. Игошина; 21 – Приход Сергия Радонежского; 22 – станция РЖД «Академическая»;
23 – Академический мост

Fig. 15. Functional zoning and layout of the campus, Irkutsk:
1 – educational and laboratory building; 2 – architectural and Construction Institute;
3 – mining Institute of Physics and Technology; 4 – cybernetics and energy;
5 – chemical-metallurgical and geological; 6 – physics and engineering graphics;
7 – aircraft engineering; 8 – student dormitory; 9 – technopark;
10 – apartment building;
11 – single-family residential buildings on Lesya Ukrainka Street; 12 – polyclinic; 13 – kindergarten;
14 – school; 15 – garages; 16 – stadium; 17 – antenna field (reserve territory); 18 – railway – TransSib;
19 – Lermontov St.; 20 – Igoshina St.; 21 – Sergiy Radonezhsky Parish;
22 – "Akademicheskaya" Railway Station; 23 – Akademicheskii Bridge

Из анализа исходной планировочной решетки Иркутского студгородка (кампуса ИРНТУ, рис. 15) вытекает следующее:

1. Университет располагается на прибрежной полосе р. Ангары, но нет университетской набережной. На линии, где могла быть набережная, располагается ул. Леси Украинки с ветхой малоценной с архитектурной точки зрения застройкой.

2. Студгородок отрезан от берега реки железной дорогой федерального значения.

3. Застройка университета 1960-х гг. оставила возможность формирования двух перекрестных пешеходных моллов, которые могут быть сформированы по центральным осям территории. Одна из осей идет вдоль ул. Игошина (20), а вторая ось вдоль тыловой границы главного учебного корпуса до станции РЖД «Академическая» (22). Вторая ось загромождена гаражными боксами. Однако коридор из капитальной застройки советского времени остается потенциальным пространством для молла – пешеходного бульвара.

Предлагается формировать четкую решетку из четырех макрокварталов (рис. 16). Они представляют собой заполнения квадрантов зеленого креста.

Зеленый крест – взаимно перпендикулярные бульвары (моллы) по центральным осям территории – ул. Игошина и по продольной оси – тыловая граница главного учебного корпуса – приход Сергия Радонежского.

Макрокварталы, примыкающие к ул. Лермонтова:

1) главный учебный корпус (400 м вдоль улицы);

2) квартал общежитий, с предложением замкнуть строчную застройку вставками вдоль улиц Игошина и Академика Курчатова. Макрокварталы, примыкающие к прибрежной ул. Леси Украинки;

3) территория со спортивным ядром и учебно-лабораторно-культурно-досуговыми объектами по периметру макроквартала;

4) жилой микрорайон с двумя детскими садами в ядре.

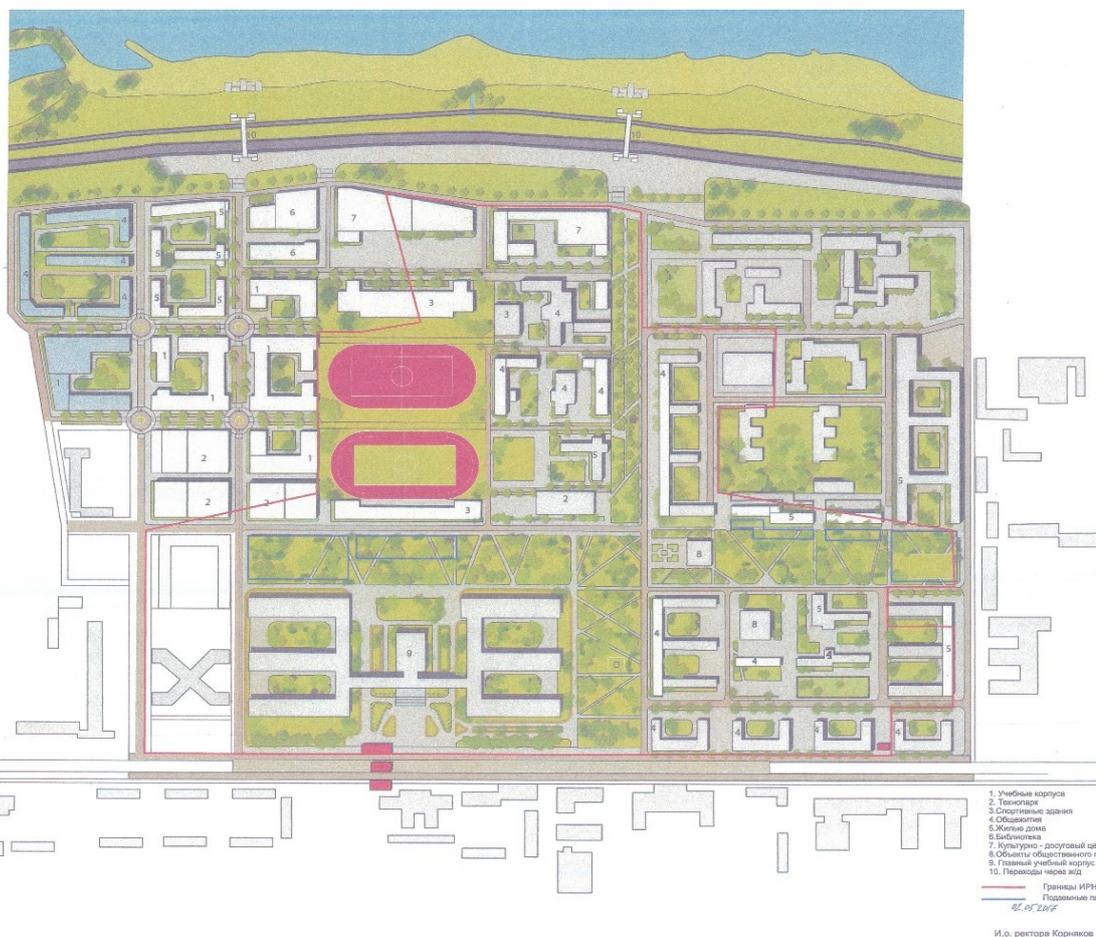


Рис. 16. Предложение по стратегическому развитию пространственной структуры Студгородка, г. Иркутск. Арх. А.Г. Большаков, 2017 г.

Fig. 16. Proposal for the strategic development of the spatial structure of the Campus, Irkutsk. Arch. A.G. Bol'shakov, 2017

Существующая раздвижка, или широкие швы между этими кварталами представляют собой по нашему предложению зеленый крест – два перекрестных бульвара, служащие основой коммуникативной и рекреационной структурой кампуса, вместе с перспективной университетской набережной по берегу р. Ангары.

ВЫВОДЫ

Модификации пространственных решеток могут способствовать улучшению функциональных и экологических качеств архитектурной среды [2]. Традиционно и в последние десятилетия особенно в проектировании кампусов уделяется внимание регулированию пространственных отношений природного ландшафта и как минимум его отдельных компонентов и технических объектов – зданий и сооружений.

В ходе выполненного исследования выявлены принципы таких отношений.

Принцип первый. Природные компоненты ландшафта: воздух, свет, растительность включаются внутрь кампусов, и упорядочивается отношение кампуса к внешнему ландшафтному пространству. За счет планировочных решеток это осуществляется согласованно и синхронно.

Принцип второй. Урегулирование баланса

отношений природных ландшафтов и частей кампуса (зданий, дворов, площадей) эффективно выполняется с помощью архитектурно-планировочного модуля, в качестве которого может выступать здание-каре, с заключенным в нем двором-клуатром. Пешеходные моллы между учебными корпусами и зданиями общежитий обеспечивают эффективную связь учебной и жилой функции.

Принцип третий. Ориентация на природный аттрактор – эстетически привлекательный ландшафт, вид на море, например, может быть более важным фактором, чем инсоляция. При условии обеспечения освещенности в помещениях кампуса.

Прикладной вывод относительно кампуса ИРНИТУ. Важным инструментом повышения эффективности кампуса Иркутского технического университета является развитие коммуникативных пешеходных моллов или бульваров, связывающих его макрокварталы. Одна из осей зеленого креста, лежащего в основе планировочной решетки кампуса ИРНИТУ, должна в перспективе выйти на набережную р. Ангары, на берегу которой расположен университет. Для этого придется преодолеть препятствия в виде хаотичной жилой застройки и магистральной железной дороги непосредственно на берегу реки.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Большаков А. Уроки ландшафтообразности из Тулуна // Проект Байкал. 2021. Т. 18. № 67. С. 130–137. <https://doi.org/10.51461/projectbaikal.67.1767>.
2. Большаков А.Г. Культура пространственных решеток в градостроительстве и архитектуре: монография. Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2021. 260 с.
3. Павлова В.А., Голошубин В.С. Природоэквивалентная архитектура в современных творческих концепциях // Архитектура и современные информационные технологии. 2019. № 1 (46). С. 340–355.
4. Габричевский А.Г. Морфология искусства. М.: Аграф, 2002. 864 с.
5. Хазанов Д. Б. Модуль в архитектуре // Вопросы теории архитектурной композиции / Под общ. ред. Н.П. Былинкина, Д.Б. Хазанова, А.Г. Циреса, Г.А. Шемякина. М.: Стройиздат, 1955–1958. С. 3–26.
6. Павлов Н.Л. Ортогональная сетка как средство формирования материальной структуры и как прием проявления смысла архитектурного пространства // Архитектура и современные информационные технологии. 2015. № 5. С. 12.
7. Корбюзье Л. Модульор. MOD 1. MOD 2 / Пер. с фр. Ж.С. Розенбаума, 1976 г. М: Стройиздат, 1976. 237 с.
8. Duany A., Talen E. Transect planning // Journal of the American Planning Association. 2002. Vol. 68. No. 3. P. 245–266. <https://doi.org/10.1080/01944360208976271>.
9. Hillier B., Hanson J. The social logic of space. UCL: Cambridge University Press, 1984. 275 p.
10. Кристаллер В. Теория центральных мест // Моя библиотека [Электронный ресурс]. URL: <https://mybiblioteka.su/9-44726.html> (26.10.21).
11. Katz P. The New Urbanism: Toward an Architecture of Community. New York: McGraw Hill Professional, 2014. 288 p.
12. Крашенинников А.В. Когнитивная урбанистика: архетипы и прототипы городской среды: монография. М.: КУРС, 2020. 210 с.
13. Янковская Ю.С., Полянцева Е.Р. Пространства ограниченного доступа: некоторые аспекты архитектурной типологии // Архитектура и современные информационные технологии. 2016. № 4 (37). С. 116–127.
14. Bolshakov A.G. Urban topology of university campus // New Technologies and Special-Purpose Development Priorities: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 667. No. 1. P. 012014. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/667/1/012014>.
15. Матвеев А. Взаимодействие культур для

преумножения знаний: кампус Политехнического университета Мухаммеда VI в Марокко от бюро Рикардо Бофилла // Синергия в квадрате [Электронный ресурс]. URL: <https://archi.ru/world/73153/sinerгиya-v-kvadrate> (26.10.21).
16. Моор В. Универсальное пространство Дальневосточного федерального университета //

Проект Байкал. 2015. Т. 12. № 44. С. 128–129. <https://doi.org/10.7480/projectbaikal.44.844>.
17. Большаков А.Г. Стратегия развития кампуса ИРНИТУ // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2019. Т. 9. № 2 (29). С. 396-407. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-2-396-407>.

REFERENCES

1. Bolshakov A. Lessons of respect for the landscape drawn from Tulun experience. *Proekt Baikal = Project Baikal*. 2021;18(67):130-137. (In Russ.). <https://doi.org/10.51461/projectbaikal.67.1767>.
2. Bolshakov A.G. The culture of spatial lattices in urban planning and architecture. Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University; 2021. 260 p.
3. Pavlova V.A., Goloshubin V.S. Nature-equivalent architecture in modern creative concepts. *Arkhitektura i sovremennye informatsionnye tekhnologii = Architecture and Modern Information Technologies*. 2019;1:340-355. (In Russ.).
4. Gabrichevskii A.G. *Morphology of art*. Moscow: Agraf; 2002. 864 p.
5. Khazanov D.B. *Module in architecture*. In: Questions of the theory of architectural composition. Under the general editorship of N.P. Bylinkin, D.B. Khazanov, A.G. Tsires, G.A. Shemyakin. Moscow: Stroizdat; 1955-1958. p. 3-26.
6. Pavlov N.L. Orthogonal net as mean of forming of the material structure and as the sense of architectural space. *Arkhitektura i sovremennye informatsionnye tekhnologii = Architecture and modern information technologies*. 2015;S:12. (In Russ.).
7. Corbusier L. Modulor. MOD 1. MOD 2. Per. from fr. J.S. Rosenbaum, 1976. M: Stroizdat, 1976. 237 p.
8. Duany A., Talen E. Transect planning. *Journal of the American Planning Association*. 2002;68(3):245-266. <https://doi.org/10.1080/01944360208976271>.
9. Hiller B., Hanson J. *The social logic of space*. Cambridge: Cambridge University Press; 1984. 275 p.
10. Kristaller V. Theory of central places. *Moya biblioteka*. Available from: <https://mybiblioteka.su/9-44726.html> [26th October 2021] (In Russ.).
11. Katz P. *The New Urbanism: Toward an Architecture of Community*. New York: McGraw Hill Professional; 2014. 288 p.
12. Krashennnikov A.V. Cognitive urbanism: archetypes and prototypes of the urban environment. Moscow: KURS; 2020. 210 p.
13. Yankovskaya Yu.S., Polyantseva E.R. Restricted availability areas: some aspects of architectural typology. *Arkhitektura i sovremennye informatsionnye tekhnologii = Architecture and Modern Information Technologies*. 2016;4:116-126. (In Russ.).
14. Bolshakov A.G. Urban topology of university campus. *New Technologies and Special-Purpose Development Priorities: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019;667(1):012014. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/667/1/012014>.
15. Matveev A. Interaction of cultures for the multiplication of knowledge: the campus of the Polytechnic University of Mohammed VI in Morocco from the Ricardo Bofill Bureau. *Synergy in the square*. Available from: <https://archi.ru/world/73153/sinerгиya-v-kvadrate> [26th October 2021] (In Russ.).
16. Moor V. Universal Space of Far Eastern Federal University. *Proekt Baikal = Project Baikal*. 2015;12(44):128-129. (In Russ.). <https://doi.org/10.7480/projectbaikal.44.844>.
17. Bolshakov A.G. Strategy for Irkutsk National Research Technical University (INRTU) campus development. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. 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>.

Информация об авторе

Большаков Андрей Геннадьевич,
доктор архитектуры, профессор,
заведующий кафедрой
архитектурного проектирования,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: andreybolsh@yandex.ru
<http://orcid.org/0000-0003-0805-7207>

Information about the author

Andrey G. Bol'shakov,
Doctor of Architecture, Professor,
Head of the Department of Architectural Design,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,
Russia,
e-mail: andreybolsh@yandex.ru
<http://orcid.org/0000-0003-0805-7207>

Вклад автора

Автор провел исследование, подготовил рукопись к печати и несет ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 21.11.2022.
Одобрена после рецензирования 30.11.2022.
Принята к публикации 01.12.2022.

Contribution of the author

Autor has conducted the study, prepared the manuscript for publication and bears the responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

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

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

Information about the article

The article was submitted 21.11.2022.
Approved after reviewing 30.11.2022.
Accepted for publication 01.12.2022.



**Историзм, ревайвализм и эклектика как предвестники
модернизма в сакральной архитектуре Вены**

Н.М. Глебова

Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Аннотация. Цель – изучить сакральную архитектуру Австрии эпохи историзма как предвестника модернизма; выяснить, как уходит историзм, оставляя место для новых находок прогрессивных архитекторов, как появляются новые стили, например, венский сецессион, а следом – и модернизм; объяснить, как из-за социальных изменений в религиозной архитектуре меняются пространственная организация, конструкции и материалы, декор и наполнение, и как традиционализм сопротивляется модернизму. Было обследовано более 250 церквей Австрии, из которых 80 построено в исторических стилях в 1830–1910 гг.; эмпирически и на литературном материале отслежена эволюция церковного строительства до наших дней, в результате дается объяснение появления современных течений в архитектуре. Творчество архитекторов оказывает влияние на формирование новых стилей и идентичностей, этот процесс характерен и для российской архитектуры. Смешение исторических стилей в одном объекте в новых комбинациях и материалах говорит о поиске, приводящем к открытию абсолютно новых форм. Кроме того, социальные потрясения и научно-технический прогресс естественным образом «заходят в здания». Архитектор во взаимодействии с заказчиком является «передатчиком» современных общественных настроений в архитектуру, создавая новые образы, символы, неразрывные с мировоззрениями времени, в котором создаются.

Ключевые слова: эпоха грюндерства, историзм, эклектика, ревайвализм, сакральная архитектура, религиозные постройки, современная церковь, символ архитектурной идентичности, модернизм

Для цитирования: Глебова Н.М. Историзм, ревайвализм и эклектика как предвестники модернизма в сакральной архитектуре Вены // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 1. С. 119–132. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-1-119-132>.

Original article

**Historicism, revivalism, and eclecticism as precursors
to modernism in sacred Viennese architecture**

Natalia M. Glebova

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. The paper aims to examine sacred Austrian architecture of the historicism period as a precursor to modernism; to explore the demise of historicism, which left room for the contributions of progressive architects and the emergence of new styles (such as the Vienna Secession) and, subsequently, modernism; to explain the impact of social changes on the spatial organization, structure, materials, decoration, and interior of religious architecture and how traditionalism resisted modernism. The study examines over 250 Austrian churches, 80 of which were built in historical styles in 1830–1910. With the use of literary evidence, the evolution of church construction is empirically traced to the present day, thus explaining the emergence of current architectural trends. The work of architects shapes new styles and identities – a process that is also characteristic of Russian architecture. The mixture of historical styles presented in new combinations and materials within a single building indicates a search leading to the discovery of entirely new forms. In addition, the buildings are naturally affected by social upheavals, as well as advances in science and technology. In collaboration with the

client, the architect translates contemporary social attitudes into architecture, thus generating new images and symbols that are inextricably linked to the worldview of their era.

Keywords: grunderism era, historicism, eclecticism, revivalism, sacred architecture, religious buildings, modern church, symbol of architectural identity, modernism

For citation: Glebova N.M. Historicism, revivalism, and eclecticism as precursors to modernism in sacred Viennese architecture. *Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2023;13(1):119-132. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-1-119-132>.

«Угрожая авангарду, возрождение является одновременно инновационным и требовательным». «О задаче историка», Вильгельм фон Гумбольдт, 1967 г.

Возникновение историзма как направления в архитектуре порождает вопрос: что же важнее – традиции или авангард? И тут же отвечает на него возрождением традиций, тем, чем гордится человечество, и одновременно применяет новые технологии, новые материалы и новые воззрения на укоренившиеся формы.

С началом бурной индустриализации во всей Европе, в Австрии в 1840-х гг. наступила так называемая эпоха грюндерства (нем. *Gründerzeit* – эпоха основателей), когда во главе культурного развития встала буржуазия.

Это был небывалый экономический подъем до кризиса 1873 г. Индустриализация вызвала спрос на жилье, люди из окрестных земель прибывали тысячами в г. Вену. Международная выставка 1873 г. в ожидании 20 млн посетителей привлекла огромное количество приезжих, строительство велось целыми кварталами.

Были выдвинуты новые эстетические задачи, прежде всего в архитектуре и художественных промыслах, но они нашли свое отражение в совершенствовании уже имеющихся форм. Грюндерство принято относить к направлению историзма в архитектуре. До наших дней сохранились целые улицы жилых домов с богато декорированными фасадами в стилях этого направления: неоготики, неоренессанса и необарокко. Строились не только дворцы для разбогатевшей буржуазии, но и церкви и многоквартирные доходные дома для быстро растущего городского населения [1].

Экономический и политический базис, на котором мог развиваться историзм, был связан с изменениями социальной политики в Австрии. Победа христиан в битве с протестантами, войсками Османской империи, турками и другими противниками Габсбургов с 1683 г. навсегда положила конец завоевательным

войнам на европейской земле, а Австрия на десятилетия стала самой мощной ее державой. Это выразилось в наивысших достижениях стиля барокко [2].

Архитекторы Иоганн Лукас фон Гильдебранд, Якоб Прандтауэр, Йоханн Бернхард, Фишер фон Эрлах, Йозеф Эммануэль создали тот уровень культурных и архитектурных требований, который в столице империи, в Вене, ставшей центром европейской политики, позже стал обязательным.

В 1857 г. в связи со знаменитым декретом императора Австро-Венгрии Франца Иосифа I средневековая крепостная стена вокруг города была разрушена и пригороды Вены были присоединены к старому городу, а на месте этой границы (гласиса) был создан великолепный бульвар Рингштрассе [3, 4]. Обретшая силу местная и приезжая со всей Европы буржуазия возводила себе здесь памятники в виде роскошных зданий в различных исторических стилях. Историзм Рингштрассе взял за образец идеализированные исторические модели. Например, для здания Парламента такой моделью служил греческий храм. Для кайзеровской резиденции – античный Форум. В стиле неоренессанса были построены университет, Государственная опера (тогда Придворная опера), Биржа, а также Художественно-исторический и Естественноисторический музеи. Для Ратуши была выбрана фламандская готика, для Бургтеатра – необарокко, а для Вотивкирхе (обетной церкви) – неоготика [5]. Говорят, что Вена – это мегаполис, сформированный историзмом.

Вниманием не были обделены и сакральные сооружения. Могущественные светская и церковная власти Австрии становятся заказчиками и главными потребителями услуг архитекторов. Огромные соборы в неоготическом, неороманском стиле стали возникать по всей Вене. Начали использоваться новые

технологии по производству кирпича, стали и бетона, что несомненно повлияло на внешний облик и внутреннее пространство новых храмов. Это была уже не старая готика в камне ручной обработки, это было нечто новое, но вызывающее в памяти величие готических соборов Средневековья.

Наряду с экспансией Вены, экономическим и общим подъемом, бурной индустриализацией и строительным бумом возникает потребность придумывать что-то новое, чувствуется мучительный поиск новых направлений в архитектуре уникальных сооружений, желание архитекторов отметить родившуюся эпоху своими сооружениями, с новыми архитектурными символами идентичности.

По всему миру прокатывается волна историзма. Это явление называют по-разному: в Америке – ревайвализм, в России – эклектика. Виктор Гюго и Гоголь увлечены «Готической страстью», противопоставляя Средние века Возрождению.

«Готическая страсть» овладела английским архитектором Огастосом Уэлби Нортмором Пьюджином (1812–1852 г.). Он один из лидеров движения Готического возрождения в Англии, автор оформления интерьеров здания Британского парламента, Вестминстерского дворца, архитектуры башни здания, названной позднее Биг-Беном. Этот стиль называют еще «Нео-Тюдор», в британской историографии часто употребляется название «британский ампир» (British Empire), причем имеется ввиду первичное значение этого определения – стиль британской империи, отражающий в национальных формах величие Британии¹.

И ведь на протяжении истории увлечение старыми стилями в новую эпоху происходило не раз – Возрождение (Ренессанс), и вот теперь ревайвализм или историзм – оно обычно выступает предвестником модернизма – чего-то совершенно нового в искусстве и архитектуре. Ревайвализм (возрождение) становится силой инноваций, а не способом консерватизма [6]. Он с нетерпением ожидает будущее, неотделимое от отголосков истории. И «будущее» наступает.

Времена изменились, уже в конце XIX в. многие прогрессивные архитекторы выступают против историзма, против ненужного орнамента и декора, а уже в первые годы XX в. в Америке и Европе начинается функционализм (как его стали называть позднее, ретроспективно), а в России – авангард.

Австрийские архитекторы перестали одоб-

рять историзм Венской Рингштрассе. Одним из ее критиков являлся видный архитектор Отто Вагнер. Адольф Лоос также отвергает историзм, усматривая в нем центральную проблему Вены [1, 2]. В связи с этими в конце XIX в. стал популярным эlegantный стиль «Венский модерн» или «Сецессион», (нем. Secession, Sezession, от лат. secessio — отделение, обособление). Родоначальниками движения были берлинские художники, а венские художники и архитекторы подхватили и развили его, отказавшись от выставляемых напоказ роскоши и великолепия, придумывая принципиально новые формы и декор. Ведущие архитекторы этого направления – Йозеф Хоффман и Йозеф Мария Ольбрих – были учениками Отто Вагнера.

Нововведения в сакральной архитектуре имеют свои корни в религиозных общинах Новой Англии и в проповедях методистов и баптистов-проповедников, возникших уже в начале XIX в.

Позже, около 1900 г., в католицизме возникает литургическое движение – глубокий философско-богословский переворот, основа для переосмысления церкви и ее архитектурной формы, а результатом движения становятся реформы литургии. Если раньше священник рассматривался как единственный существенный субъект мессы, а прихожанам отдавалась лишь пассивная роль слушателей, то теперь верующие должны были принимать активное участие в литургии (об этом говорится в Римском миссале 1884 г.).

Эти тенденции к литургическому обновлению были усилены в начале двадцатого века указами Папы Пия X, в которых «первым и незаменимым источником истинно христианского духа» было признано активное участие верующих в совершении священного праздника. Теперь это становилось делом всего христианского сообщества.

Ключевым моментом стала программа Висбадена 1891 г., в которой призыв к равенству слова и таинства предполагает отмену пространственного разделения хора и нефа и объединение внутреннего пространства церкви. В итоге в 1894 г. на Строительном конгрессе церкви в Берлине было заявлено, что алтарь должен стать центром церкви, не только символическим, но и реальным; а на Дрезденском конгрессе по строительству церковных зданий в 1906 г. прозвучали высказывания против имитации историзма. Все это стало важной основой для далеко идущих изме-

¹Власов В. Г. Неоготика. Новый энциклопедический словарь изобразительного искусства. В X т. Т. VI. СПб.: Азбука-Классика, 2007. С. 146–147.

нений, которые произошли в строительстве католических церквей в XX в. [2].

Отто Вагнер проектирует свою знаменитую церковь Ам-Штайнхоф (рис. 1), которую в 1903 г. уже начинают строить. Примерно в это же время над Церковью Святого Чарльза Борромео на центральном кладбище Вены работает другой архитектор Макс Хегеле (рис. 2). Внешне мы все еще наблюдаем признаки историзма, но интерьер уже наполнен

современным духом. Фридрих Ахляйтнер [7–9] комментировал: «На самом деле, однако, речь уже шла об использовании декора в стиле модерн на фоне рассеянного историзма или об адаптации к сухому монументализму, законченному в безжизненном пафосе...». Тем не менее, типология демонстрирует визуальное сопротивление, которое представляет собой собственное качество в крупномасштабном контексте.



Рис. 1. Церковь Ам-Штайнхоф (церковь Святого Леопольда).
Арх. Отто Вагнер. Г. Вена (Австрия), 1903–1907 гг. Фото: М. Кламер
Fig. 1. Church am Steinhof (ger. Kirche am Steinhof, Kirche zum heiligen Leopold).
Arch. Otto Wagner. Vienna, Austria, 1903–1907. Photo: M. Klamer



Рис. 2. Католическая церковь Святого Чарльза Борромео. Арх. Макс Хегеле.
Центральное Кладбище г. Вены (Австрия), 1908–1911 гг. Фото: М. Кламер
Fig. 2. Catholic Church of St. Charles Borromeo (ger. Friedhofskirche zum heiligen Karl Borromäus).
Arch. Maximilian Hegele. Central Cemetery of Vienna, Austria, 1908–1911. Photo: M. Klamer

В церкви Макса Хегеле есть конструктивные параллели с церковью Ам-Штайнхоф, но есть версия, что на ее дизайн могли повлиять эскизы Хегеле 1899 г. (Отто Вагнер был членом жюри конкурса на проект церкви Святого Борромео).

Макс Хегеле после окончания высшего государственного ремесленного училища и класса по раннехристианской и средневековой архитектуре сначала работал в мастерской Франца фон Ноймана над дизайном интерьера венской Антонскирхе (рис. 3), представля-

ющую собой постройку в историческом романско-византийском стиле. Интерьер просто выкрашен в белый цвет – тогда это решение было принято из-за нехватки денег, фрески были сделаны лишь после реставрации в 1962 г., но благодаря этому фактору интерьер выглядит очень инновационным и современным в наши дни.

Интересно, что в это же самое время в США строится Храм Единства – унитарная универсалистская церковь в Оук-Парке (штат Иллинойс), спроектированная американским архитектором Фрэнком Ллойдом Райтом (рис. 4). Из-за консолидации эстетического замысла и структуры за счет использования единого материала – железобетона, Храм Един-

ства рассматривается многими архитекторами как первое современное здание в мире [10].

План Храма представлял собой идеальный квадрат, что в последующие годы также легло в основу многих венских модернистских церквей [2, 11].

Следует отметить, что и весь интерьер, мебель, светильники проектировались также самим Райтом.

Отто Вагнер, в чьих интерьерах мы находим много аналогий, был старше Райта, сложно сказать, кто из них больше влиял друг на друга в творчестве, но следует отметить, что книга Вагнера «Современная архитектура» (*Moderne Architektur*, 1895 г.) стала «Библией нового движения» в мировой архитектуре.



Рис. 3. Католическая церковь святого Антония Падуанского (Антонскирхе).
Арх. Франц фон Нойман. 10-й р-н г. Вены (Австрия), 1896–1902. Фото: М. Кламер
Fig. 3. Catholic Church of St. Anthony of Padua (ger. Antonskirche). Arch. Franz von Neumann.
10th district of Vienna, Austria, 1896–1902. Photo: M. Klamer



Рис. 4. Храм Единства. Арх. Фрэнк Ллойд Райт. Иллинойс (США), 1905–1908 гг.²
Fig. 4. Unity Temple. Arch. Frank Lloyd Wright. Illinois, USA, 1905–1908²

²AD Classics: Unity Temple / Frank Lloyd Wright // Archdaily.com [Электронный ресурс]. URL: <https://www.archdaily.com/112683/ad-classics-unity-temple-frank-lloyd-wright-3> (30.06.2022).



Рис. 5. Католическая церковь Альтлерхенфельд (Семи Прибежищ).
Арх. Иоханн Георг Мюллер. 7-й округ г. Вены (Австрия), 1853. Фото: Н. Глебовой
Fig. 5. Catholic Church Altlerchenfeld (Seven Refuges) (ger. Kirche Altlerchenfeld (Sieben Zufluchten)).
Arch. Johann Georg Müller. 7th district of Vienna. Austria. 1853. Photo: N. Glebova



Рис. 6. Католическая церковь Бад-Фёслау.
Арх. Франц Зитте. Р-н Баден (Австрия), 1860–1870 гг. Фото: Н. Глебовой
Fig. 6. Catholic Church of Bad Vöslau (ger. Kirche Bad Vöslau).
Arch. Franz Sitte. District of Baden, Austria, 1860–1870. Photo: N. Glebova

Модерн возникает естественным образом, постепенно, в зданиях в стилях историзма, подобно тому, как ранее происходило с классицизмом, который плавно переходил в историзм.

Так, например, церковь Альтлерхенфельд (1853 г.) (рис. 5) изначально планировалась как классицистская и интересна с художественно-исторической точки зрения именно

тем, что образует своеобразное переходное произведение между классицизмом и историзмом в архитектуре.

Автор проекта, швейцарский архитектор Иоганн Георг Мюллер был победителем конкурса на строительство этой церкви. Но он не дождался начала строительства, а управление стройкой взял на себя его помощник, чертежник, архитектор Франц Зитте (отец знаменито-

го австрийского градостроителя Камилло Зитте), и действовал он уже в соответствии со своими планами. Его следующая работа, по собственному проекту, очень интересная церковь Бад Фёсла под Веной (рис. 6).

Белая, с минимальным внешним декором, «балансирует» между классицизмом и историзмом. Мы видим «цитаты» из готики, неороманские элементы, а также черты классицизма.



Рис. 7. Католическая церковь Нойзиммеринга (Непорочного зачатия).

Арх. Ганс (Иоганн) Шнайдер. 11-й р-н г. Вены (Австрия), 1907–1910 гг. Фото: Н. Глебовой

Fig. 7. Catholic Church of Neusimmering (Immaculate Conception)
(ger. Kirche Neusimmering (zur Unbefleckte Empfängnis).

Arch. Hans (Johann) Schneider. 11th district of Vienna, Austria, 1907–1910. Photo: N. Glebova

У церкви Нойзиммеринга (рис. 7) архитектура, фасады, внутреннее пространство, внешняя отделка также решены в неороманском, неоготическом стилях, но в отделке интерьера явно прослеживаются черты сецессиона. Значит ли это, что интерьер проектировался позже, и архитектор понимал, что время историзма миновало? В любом случае, в это время модерн уже захватил умы молодых архитекторов.

Поскольку процесс проектирования и строительства архитектурного объекта порой сильно растянут во времени, в стилевых направлениях происходят трансформации. Так было и с церковью Нойзиммеринга. Уже в 1886 г. была представлена для этого проекта территория на месте рыночной площади. Но первый камень был заложен лишь в 1907 г. На выбор было предложено три архитектурных проекта церкви, и победил проект Ханса Шнайдера, уже работавшего над Вотивной церковью в Вене несколькими годами ранее в качестве помощника Хенриха фон Ферстеля. А Вотивная церковь, в свою очередь, была заложена в 1853 г., соответственно, проектировалась еще ранее, а работали над ней Фер-

стель и Шнайдер до 1879 г., когда в воздухе витали новые идеи. Проект неоготической Редemptористенкирхе архитектора Ричарда Йордана (рис. 8) был представлен на Всемирной выставке в г. Париже в 1900 г. Надо отметить, что именно на всемирных выставках традиционно происходил обмен последними мировыми технологиями и трендами, и можно было отследить, что наиболее актуально на данный момент времени, а в чем грезы будущего. С одной стороны, это давало вектор объединения новым направлениям в искусстве и архитектуре, а с другой – отражало явление глобализации, распространение одного стиля в разных странах, и отказ от местных традиционных форм, от местной национальной и культурной идентичности [12]. Еще одна неоготическая-неороманская Канисиускирхе (рис. 9): верхняя церковь была спроектирована архитектором Густавом Риттером фон Нойманом, декор типичен для ранних готических форм. Весь пресвитерий (жилище священника при церкви) в ходе полной реконструкции 1956 г., выполненной по проекту Ладислава Хрушки из серого мрамора, с двенадцатью ступенями, был построен заново.



Рис. 8. Католическая церковь Неустанной Помощи Марии (Редемптористенкирхе).
Арх. Ричард Йордан. Г. Вена (Австрия), 1886–1889 г. Фото: Н. Глебовой
Fig. 8. Catholic Church of the Perpetual Help of Mary (Redemptoristen)
(ger. Pfarrkirche Maria von der immerwährenden Hilfe (Redemptoristenkirche)).
Arch. Richard Jordan. Vienna, Austria, 1886–1889. Photo: N. Glebova



Рис. 9. Католическая церковь Канисиус. Арх. Густав Риттер фон Нойман.
9-й округ г. Вены (Австрия), 1899–1903 г. Фото: М. Кламер
Fig. 9. Catholic Church of Canisius. (ger. Katholische Canisiuskirche). Arch. Gustav Ritter von Neumann.
9th district of Vienna, Austria, 1899–1903. Photo: M. Klamer

Церковь Святого Леопольда (Донауфельдкирхе) Франца Риттера фон Ноймана (младшего) – также в стиле неоготики, из кирпича, но здесь интерьер уже в стиле модерн, стоит посреди небольшого парка на Кинцерплац (рис. 10). Нойман не дожил до закладки первого камня, и архитекторы Карл Тролль и Иоганн Стоппель руководили строительством, но строго по

чертежам Ноймана. Католическая церковь Святой Бригитты (рис. 11) – кирпичное здание в неоготике и неороманском, арх. – Фридрих фон Шмидт, а арх. Ричард Йордан отвечал за управление строительством. В 1972 г. сильно пострадала от землетрясения, но была полностью отреставрирована в 1973–1974 гг., позже отреставрирован интерьер – в 1983–1984 гг.



Рис. 10. Католическая церковь Святого Леопольда. (Донауфельдкирхе).
Арх. Франц Риттер фон Нойман (младший). Г. Вена (Австрия), 1905–1914 гг. Фото: М. Кламер
Fig. 10. Catholic Church of Saint Leopold. (ger. Kirche St. Leopold. Donaufeldkirche).
Arch. Franz Ritter von Neumann (Jr.). Vienna, Austria, 1905–1914. Photo: M. Klamer

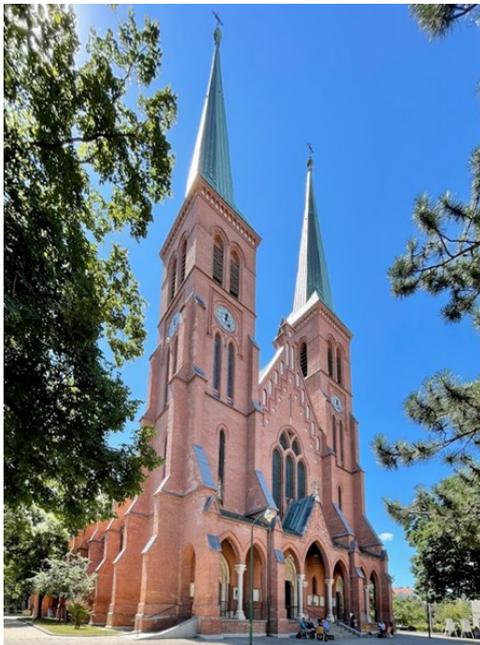


Рис. 11 Католическая церковь Св. Бригитты. Арх. Фридрих фон Шмидт.
г. Вена (Австрия), 1866–1874 гг. Фото: М. Кламер
Fig. 11. Catholic Church of Saint Brigid (ger. römisch-katholische Pfarrkirche Brigittakirche).
Arch. Friedrich von Schmidt. Vienna, Austria, 1866–1874. Photo: M. Klamer



Рис. 12. Церковь Святого Духа. Арх. Йозе П्लечник Оттокринг.
Г. Вена (Австрия), 1910–1913 г. Фото: Н. Глебовой
Fig. 12. Church of the Holy Spirit. (ger. Heilig-Geist-Kirche). Arch. Jože Plečnik. Ottokring.
Vienna, Austria, 1910–1913. Photo: N. Glebova

В отличие от неоготических церквей совершенно уникальный вид имеет церковь Святого Духа архитектора Йозе П्लечника (ученика Отто Вагнера) в районе Оттакринг в г. Вене (рис. 12). Это одно из самых ранних сакральных зданий в Европе, с видимой открытой фактурой железобетона. Интересно, что открытый бетон получился случайно: церковь планировалось облицевать каменными плитами или специальными панелями «под кирпич»; в интерьере строгие бетонные стены

должны были быть выполнены с цветным орнаментом. Но в силу суровых требований экономии, возможно, пришлось оставить их без отделки, в результате чего получился этот «инновационный бруталистский» вид. Хотя брутализм как одно из направлений модернизма в архитектуре появится значительно позже. В интерьере церкви он заменил арки боковых нефов двумя более чем 20-метровыми свободно пролетными балками. Вместо четкого разделения на центральные и

боковые проходы было создано некое квадратное пространство, которое также позволяет хорошо видеть алтарь из боковых проходов. Долгое время храм считался первым железобетонным храмом в Европе. Однако этот статус должен был быть присвоен церкви, построенной в 1910 г. Иштваном Медьясаем в Муле, который также был учеником Вагнера. После завершения строительства здание подверглось резкой критике. Наследник австро-венгерского престола эрцгерцог Франц-Фердинанд описывал церковь как смесь русской бани, конюшни и храма Венеры. Сегодня церковь Святого Духа и Цахерльхаус (Zacherlhaus, в центре Вены) являются одними из всемирно известных работ Плечника. Главный алтарь спроектирован Адольфом Отто Холубом (1882 – около 1920 гг.) по подобию церкви Штайнхоф Отто Вагнера в новорожденном стиле Сецессион. Здесь мы можем снова зафиксировать явление естественного

стихийного возникновения инноваций в архитектуре и искусстве. На протяжении всей истории мы наблюдаем, как храмы строились в течение длительного времени, порой веками. В результате войн или стихийных бедствий их части разрушались, а затем достраивались уже в рамках других технологий и новых идеологий. Собор Успения Марии и Св. Руперта, например (рис. 13), был заложен в 1207 г., в романском стиле. С 1588 по 1630 гг. внутри церкви была построена первая кафедра в стиле барокко. Барочный алтарь с изображением Успения Пресвятой Богородицы работы Джандоменико Чиньяроли был установлен в 1776 г.

В 1886 г. вся западная часть и ее башни были снесены из-за повреждений, нанесенных землетрясением; позже они были перестроены под руководством венского архитектора Ричарда Йордана в стиле историзма [13].



Рис. 13. Кафедральный Собор Успения Марии и Святого Руперта (Винер-Нойштадт), XII в. Реконструкция – башни и входной портал – 1892–1899 гг.

Арх. Ричард Йордан. Г. Винер-Нойштадт (Австрия). Фото: Н. Глебовой

Fig. 13. Cathedral of the Assumption of Mary and St. Rupert (Wiener Neustadt) (ger. Wiener Neustädter Dom; Dom Mariä Himmelfahrt und Sankt Rupert). Cathedral – 12th century. Reconstruction – towers and entrance portal – 1892–1899. Arch. Richard Jordan. Wiener Neustadt, Austria. Photo: N. Glebova

Венские архитекторы церквей в стиле историзм Пьетро Нобеле, Карл Ройснер, Хенрих фон Ферстель, Ричард Йордан, Франц Зитте,

братья Густав Риттер фон Нойман и Франц Риттер фон Нойман, Фридрих фон Шмидт, Йозе Плечник и другие в свете мировых тен-

денций оказали и свое личное влияние на развитие церковной архитектуры Вены и Австрии.

Архитекторы, являясь своеобразными посредниками между обществом и средой для жизни и деятельности этого общества, становятся выразителями социальных перемен и явлений через новые формы искусства и архитектуры.

Эпоха Просвещения, индустриальный взрыв, послевоенный финансовый кризис – с одной стороны, появление новых рациональных технологий, материалов и церковные реформы – с другой – определили современные направления в архитектуре и дизайне сакральных зданий фактически стихийно, но не без основательной поддержки прогрессивных архитекторов. Однако любые новшества всегда встречают сопротивление традиций. Историзм и традиционализм еще долго будет встречаться в церковных зданиях на протяжении всего XX в. Это вечное противодействие двух сил – стремление к новизне и желание сохранить укоренившееся историческое проявляется и по сей день в сакральном строительстве.

Элементы старых стилей в основном цитируются формально связно, иногда ими злоупотребляют, что приводит к утрате их первоначальной литургической функции. Соответственно, функциональное изменение здесь происходит еще не от поиска церковного пространства, обслуживающего литургию, а именно от потребности в экономичном, но в то же время репрезентативном сакральном здании с живописным и символическим внешним эффектом. Причина, по которой венские сакральные постройки «застряли» в историзме, может заключаться, прежде всего, в официальных спецификациях официальной церкви. Возникший в эпоху Просвещения рационализм, усиление власти настроенной на капитализм буржуазии и усиление влияния государства на церковные дела привели к коренным изменениям в отношениях между обществом и церковью, которые первоначально проявлялись в реакционной обособленности. Это можно увидеть и в папских энцикликах и постановлениях того времени, которые в целом негативно относятся к новым идеям и современным достижениям: вышедшие в 1864, 1885 и 1888 гг. энциклики категорически отрицают какие-либо либеральные тенденции. Отношение католической церкви к современным научным и философским течениям проявляется и в антимодернистской присяге, которая была введена в 1910 г. папой Пием X для всех высших священнослужителей и отменена

только в 1967 г.! [14]. И, как мы наблюдаем, несмотря на подавляющую оппозицию церкви, модернизм просачивается в сакральную архитектуру.

На проявление историзма в искусстве и архитектуре существуют также иные взгляды, нежели привычная их трактовка как желание сохранить и законсервировать исторические стили и традиции. Так, например, на конференции в Лондоне 25 выдающихся ученых в области истории искусства, архитектуры, дизайна и сохранения наследия по всему миру высказывают точку зрения о том, что проявление историзма выступает как сочетание различных «прошлых», «исторических» стилей, обретающих новую современность и жизнь в некоем «исторически неправильном» единстве, поскольку в этом единстве представлены осколки разных времен (эти времена репрезентируются как стили). Эти взгляды противодействуют изоляции возрождения как канонической практики противоположной модернизму, вместо этого подчеркивая его международное и междисциплинарное присутствие в период модерна (современности и появлению нового).

В сборнике эссе этой конференции отражаются три темпоральности в рамках возрождения: прошлое воспоминаний, настоящее идентичностей и будущее утопий. Эти временные группировки служат для выделения связей между разрозненными проектами, а также служат для демонстрации важности и разнообразия в современном искусстве, дизайне и архитектуре [15].

Философ Элизабет А. Гросс исследует и сопоставляет идеи и теории, выдвинутые Чарльзом Дарвином, Фридрихом Ницше и Анри Бергсоном, чтобы выяснить, как мы можем понять время и историю внутри себя или себя в контексте времени: «мы можем думать о времени только тогда, когда нас вырывает из нашего погружения» [15], т.е. только ретроспективно оценивать ситуации достаточно объективно, чтобы выставить это в стройную последовательность. Путь к пониманию историзма и возрождения в отношении идентичности, памяти и утопии Гросс видит в эссе Ницше 1873 г. «О пользе и вреде истории для Жизни», где он объясняет историзм как попытку «переформулировать саму историю, сделав историю способом утверждения настоящего в будущем, в котором можно обратиться к ценности прошлого». Нам нужна история для жизнеутверждения, «мы хотим служить истории только в той мере, в какой она служит жизни».

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Глебова Н. М., Кламер М. Красная Вена. 1919–1934 // Проект Байкал. 2021. № 18 (68). С. 26–35. <https://doi.org/10.51461/projectbaikal.68.1797>.
2. Глебова Н. М., Кламер М. Эволюция и модернизм религиозной архитектуры Вены // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2021. Т. 11. № 2 (37). С. 314–329. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-2-314-329>.
3. Nierhaus A. Der Ring. Pionierjahre einer Prachtstrasse. Wien: Residenz, 2015. 288 s.
4. Kohlbauer-Fritz G. Ringstrasse. Ein jüdischer Boulevard. Wien: Amalthea, 2015. 344 s.
5. Кламер М., Глебова Н. М. Общественные парадные пространства Венского Ринга – из истории в современность // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2016. № 2 (17). С. 228–244.
6. Jacks Ph. Ferro-concrete and the search for style in the 'american renaissance': the case of Franklin Webster Smith. III. Utopias. London: The Courtauld Institute of Art, 2015. P. 171–187.
7. Achleitner F. Österreichische Architektur im 20. Jahrhundert. B. III. 1. Wien 1–12. Salzburg: Residenz, 2010. 331 s.
8. Achleitner F. Österreichische Architektur im 20. Jahrhundert. B. III. 2. Wien 13–18. Salzburg: Residenz, 1995. 256 s.
9. Achleitner F. Österreichische Architektur im 20. Jahrhundert. B. III. 3. Wien 19–23. Salzburg: Residenz, 2010. 500 s.
10. Storrer W. A. The Frank Lloyd Wright Companion. Chicago: University of Chicago Press, 2006. 492 p.
11. Глебова Н. М., Кламер М. Современный храм в структуре города как символ культурной идентичности и общественное пространство // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 2. С. 256–275. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-2-256-275>.
12. Глебова Н. М. Формирование архитектурной идентичности городской среды Иркутска: монография. Иркутск: Изд-во Иркутского национального исследовательского технического университета, 2020. 86 с.
13. Reidinger E. Planung oder Zufall – Wiener Neustadt 1192. Wien, 2001. S. 267–389.
14. Bäumler A. K., Zeese A. Wiener Kirchenbau nach 1945. Wien: Institut für Kunstgeschichte, 2007. 139 s.
15. Lepine A. Historicism. II. Identities'. London: Research Forum of The Courtauld Institute of Art Somerset House, 2015. P. 101–103.

REFERENCES

1. Glebova N. , Klamer M. Red Vienna. 1919-1934. *Proekt Baikal = Project Baikal*. 2021;18:26-35. (In Russ.). <https://doi.org/10.51461/projectbaikal.68.1797>.
2. Glebova N. M., Klamer M. Evolution and modernism of church architecture in Vienna. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2021;11(2):314-329. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-2-314-329>.
3. Nierhaus A. Der Ring. Pionierjahre einer Prachtstrasse. Wien: Residenz, 2015. 288 p. (In German).
4. Kohlbauer-Fritz G. Ringstrasse. Ein jüdischer Boulevard. Wien: Amalthea, 2015. 344 p. (In German).
5. Klamer M., Glebova N. M. Public parades of a Space Ring - from history to modern. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2016;2:228-244. (In Russ.).
6. Jacks Ph. Ferro-concrete and the search for style in the 'american renaissance': the case of Franklin Webster Smith. III. Utopias. London: The Courtauld Institute of Art; 2015. p. 171-187.
7. Achleitner F. Österreichische Architektur im 20. Jahrhundert. B. III. 1. Wien 1–12. Salzburg: Residenz; 2010. 331 s. (In German).
8. Achleitner F. Österreichische Architektur im 20. Jahrhundert. B. III. 2. Wien 13–18. Salzburg: Residenz; 1995. 256 s. (In German).
9. Achleitner F. Österreichische Architektur im 20. Jahrhundert. B. III. 3. Wien 19–23. Salzburg: Residenz; 2010. 500 s. (In German).
10. Storrer W. A. The Frank Lloyd Wright Companion. Chicago: University of Chicago Press; 2006. 492 p.
11. Glebova N. M., Klamer M. Modern temple in urban structure as a symbol of cultural identity and public space. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(2):256-275. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-2-256-275>.
12. Glebova N. M. The formation of the architectural identity of the urban environment of Irkutsk. Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University; 2020. 86 p. (In Russ.).
13. Reidinger E. Planung oder Zufall – Wiener Neustadt 1192. Wien; 2001. S. 267-389. (In German).
14. Bäumler A. K., Zeese A. Wiener Kirchenbau nach 1945. Wien: Institut für Kunstgeschichte; 2007. 139 s.

15. Lepine A. 'Historicism. II. Identities'. London: Research Forum of The Courtauld Institute of Art

Somerset House; 2015. P. 101-103.

Информация об авторе

Глебова Наталья Моисеевна,
доцент, доцент кафедры
архитектурного проектирования,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия
e-mail: nita12@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8762-9711>

Information about the author

Natalia M. Glebova,
Associate Professor,
Associate Professor Department
of Architectural Design,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., 664074 Irkutsk, Russia
e-mail: nita12@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8762-9711>

Вклад автора

Автор провел исследование, подготовил
рукопись к печати и несет ответственность за
плагиат.

Contribution of the author

Autor has conducted the study, prepared the man-
uscript for publication and bears the responsibility
for plagiarism.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта инте-
ресов.

Conflict of interests

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

Автор прочитал и одобрил окончательный ва-
риант рукописи.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 06.12.2022.
Одобрена после рецензирования 27.12.2022.
Принята к публикации 28.12.2022.

Information about the article

The article was submitted 06.12.2022.
Approved after reviewing 27.12.2022.
Accepted for publication 28.12.2022.



Формирование жилой среды г. Байкальска в структуре трансформирующегося города в сложных сейсмогеологических условиях

О.И. Саландаева^{1✉}, Л.П. Бержинская², Р.А. Усатый³

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

^{1,2,3}Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия

³ООО «Фама Про», г. Иркутск, Россия

Аннотация. Современные концепции стратегии планирования и развития г. Байкальска, а также формирования его архитектуры имеют многоуровневую структуру. Комплексы градообразующих и градоформирующих факторов определяют приоритеты функциональной трансформации города. Уникальные природные и климатические, географические и коммуникационные условия города, притягательность оз. Байкал определяют концептуальные направления архитектуры жилой среды. Исследование опыта освоения территории г. Байкальска в целом, а также существующего жилого кластера и влияния деятельности человека на природный комплекс, указывает на некоторые негативные последствия, избежать которые необходимо на этапе постиндустриального развития города. При этом стоит использовать опыт строительства и эксплуатации зданий с целью повышения качества архитектуры в сложных сейсмогеологических условиях. Данный опыт позволит определить не только основные направления планирования и формообразования застройки, но и определит пути установления баланса между биосферой и техносферой в контексте формирования оптимальной застройки и позволит найти архитектурные приемы, органично связанные с уникальным природным ландшафтом. Для оптимального формирования архитектурно-планировочной структуры жилой среды необходим прогрессивный подход к качеству архитектуры жилой застройки и обеспечению сейсмической устойчивости жилых зданий не только архитектурно-планировочными и конструктивно-строительными средствами, но и к соблюдению условий, позволяющих не провоцировать нарушение геосистемы и ухудшение сейсмогеологических условий.

Ключевые слова: жилые здания, жилая застройка, сейсмостойкость, архитектурное и архитектурно-конструктивное моделирование, биосфера, техносфера, прибрежные территории, сейсмогеологические условия территории

Для цитирования: Саландаева О.И., Бержинская Л.П., Усатый Р.А. Формирование жилой среды г. Байкальска в структуре трансформирующегося города в сложных сейсмогеологических условиях // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 1. С. 133–150. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-1-133-150>.

Original article

Formation of Baikalsk living environment in transforming city structure under severe seismic conditions

Olga I. Salandaeva^{1✉}, Lidiya P. Berzhinskaya², Roman A. Usaty³,

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

^{1,2,3}Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russia

³"Fama Pro" LLC, Irkutsk, Russia

Abstract. The Baikalsk city planning and development strategies are based on multilevel-structured concepts. Combined city-forming and city-serving factors underpin the priorities of functional transfor-

mation of the city. Unique natural, climatic, geographical and social conditions of the city, as well as the attractive character of Lake Baikal determine the conceptual trends in living environment architecture. Exploring the territory development of Baikalsk, the existing residential cluster and the impact of human activity on the ecosystem reveals some negative consequences, which must be avoided at the stage of post-industrial development of the city. In doing so, the specialists should refer to the experience of construction and operation of buildings in order to improve architecture quality under severe seismic conditions. This experience will identify the main directions of planning and shaping of buildings, the ways to establish balance between biosphere and technosphere in the context of optimal building development, and to determine architectural techniques that are perfectly blended with the unique natural landscape. The optimal formation of the architectural and planning structure of the living environment requires a progressive view on the quality of residential building architecture and on ensuring the seismic stability of residential buildings. Such an approach assumes not only architectural, planning and structural means, but also compliance with the terms that do not provoke disturbance of geosystem and worsening of seismic conditions.

Keywords: residential buildings, residential development, seismic resistance, architectural and architectural-constructive modeling, biosphere, technosphere, coastal areas, seismogeological conditions of the territory

For citation: Salandaeva O.I., Berzhinskaya L.P., Usaty R.A. Formation of Baikalsk living environment in transforming city structure under severe seismic conditions. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'* = *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2023;13(1):133-150. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-1-133-150>.

ВВЕДЕНИЕ

Тенденции преобразования и реконструкции городов средствами совершенствования их зонирования, планировочной, транспортной, пешеходной структур и архитектуры зданий продиктованы, как правило, социально-экономическим запросом вследствие изменения градообразующей производственной и/или функциональной структуры, экономических преобразований или послевоенных разрушений. Концепции формообразования реконструируемых городов в значительной степени дифференцируются в зависимости от масштаба городов и поставленных градостроительных задач в каждой конкретной градостроительной ситуации. Мировой и отечественный опыт реконструкции городов широко представлен и перепрофилированием производственных территорий и объектов.

Сегодня существующая застройка г. Байкальска все еще отражает первоначальный замысел, ориентированный на деятельность Байкальского целлюлозно-бумажного комбината (БЦБК). Результаты этого опыта повлекли за собой значительные отрицательные геологические и экологические трансформации и, как следствие, поставили в составе задач дальнейшего развития города – задачи предупреждения нарушения идентичных элементов природной среды. В основе концепции преобразования г. Байкальска, безусловно, необходимо учесть уникальный природный статус места города: повышение

качества жилой среды средствами формирования оптимальной комфортной и безопасной архитектурной среды, интегрированной с природным комплексом, с учетом сложных сейсмогеологических условий и оптимизацией на основе предварительного многофакторного анализа территориальных, планировочных целевых функций и качества существующей застройки города и его окрестностей. Для выполнения данной задачи существует большая база данных научных исследований региона. Огромный потенциал будущих научных исследований уникального природного кластера может быть реализован при организации в городе научного-исследовательского комплекса, ориентированного, в том числе, и на изучение и регенерацию природных достояний ареала. Благоприятные географические, коммуникационные и природно-климатические условия – притягательность оз. Байкал, мягкий, безветренный климат, невероятно красивые природные ландшафты, белоснежные покровы в зимний период – являются более чем достаточными факторами для развития и совершенствования объектов оздоровления: лечебных комплексов и комплексов отдыха, туризма и спорта. Кроме учета влияния природных факторов на развитие городского плана в данных обстоятельствах новых приоритетов при формировании новой архитектурно-градостроительной структуры необходимы не только прогноз социально-экономического развития, но и благоприятный прогноз эффек-

тивного планирования и формообразования новой концептуальной архитектуры застройки. Вышеуказанные факторы функциональной трансформации видоизменяют и социальную структуру населения. Подобная градоформирующая структура оказывает значительное влияние на изменения направлений профессиональной деятельности населения, что в свою очередь диктует новые требования для формирования жилищного кластера в контексте его потребительского запроса.

МЕТОДЫ

Сейсмогеологические условия. Высокая сейсмичность Байкальской рифтовой зоны в целом, подтверждается как продолжением формирования Байкальского рифта, которое началось около 65–56 млн лет назад, так и отдельными сильными землетрясениями, интенсивность которых достигает 7–10 баллов по 12-балльной шкале MSK-64. По данным ряда наблюдений, скорость относительного смещения Забайкальского и Сибирского блоков составляет $3,4 \pm 0,7$ мм/год. На современном этапе развития Южно-Байкальская впадина характеризуется режимом растяжения со сдвигом и высоким сейсмическим потенциалом – здесь могут обладать не только главные граничные разломы, но и гораздо менее протяженные разрывы во внутренней части рифтовой впадины [1].

Высокая сейсмичность территории Прибайкалья – явление многокомпонентное, обусловлено сложными гидрогеологическими, механическими и физико-химическими процессами, происходящими в коре и литосфере Земли, и представляет собой результат жизнедеятельности сейсмогеодинамической системы.

Сведения о сложных механических и физико-химических перестройках в ходе тектонической активизации земной коры и литосферы приобретают особую значимость для анализа сейсмичности густонаселенных территорий с позиций системного подхода и позволяют проследить существующие тенденции процессов в сейсмогеодинамической системе.

В зоне южной впадины Байкала за год регистрируют как десятки, так и более тысячи сейсмических событий в год. Информация о крупных и катастрофических землетрясениях до конца XIX в. представлена только в описаниях. Преобладают сведения об эпицентрах наиболее значительных землетрясениях в южной части оз. Байкал и во впадинах Тункинской системы. О высоком сейсмическом потенциале Южно-Байкальских землетрясений свидетельствуют:

– Великое Восточно-Сибирское землетрясе-

ние (1 февраля 1725 г.) с ориентировочными магнитудой 8,2 и интенсивностью в эпицентре – 11 баллов (по сведениям из дневника Д. Мессершмидта, путешествовавшего в 1720-х гг. по Сибири);

– землетрясение 27.06.1742 г., магнитуда которого предположительно оценивается в 7,7, а интенсивность в эпицентре превышала, по-видимому, $I_0 = 10$ баллов [2];

– к Южному Байкалу относятся сильные землетрясения 24.10.1769 г. (M~7,3), 08.08.1771 г. (M~6,0) и 01.03.1779 г. (M~6,6) [2, 3].

– крупные землетрясения 2 сентября, 1814 г., 8 марта 1829 г. характерны множественными толчками на протяжении долгого времени;

– землетрясение 24 февраля и мощное землетрясение 8 марта 1829 г. с вероятным эпицентром в районе южного Прибайкалья (ощущалось в городах Иркутске и Кяхте около 8 баллов) охватило территорию порядка 1 млн км². Данное землетрясение началось 24 февраля, а с 8 по 19 марта ощущалось ежедневно по 3–4 раза в сутки и несколько реже – до 3 апреля; сила этого землетрясения не могла быть ниже 10 баллов.

Землетрясение, исключительное по своей силе и катастрофическим последствиям, произошло 11–12.01.1862 г. в дельте р. Селенги. Эпицентр его лежал в зоне разломов, ограничивающих оз. Байкал с юго-востока и проходящих в непосредственной близости от строительной площадки г. Байкальска. Землетрясение началось легким сотрясением 10.01.1862 г. Примерно через сутки произошел первый сильный удар, который даже в г. Иркутске вызвал значительные разрушения (7 баллов). После этого толчка в г. Иркутске (170–180 км от эпицентра) в течение суток было зарегистрировано 8 землетрясений. Главный удар землетрясений произошел в 14 ч. 18 мин. 12.01.1862 г. В г. Иркутске и в п.г.т. Селенгинске сила землетрясения достигала 8 баллов. В г. Иркутске главная фаза землетрясения продолжалась 1,5 мин., а непрерывное колебание земли ощущалось 32 мин. (с церковью падали купола, растрескивались все каменные здания, лопались земля и лед на реках; наблюдалось психическое воздействие землетрясения на людей – многие падали в обморок, среди женщин были случаи потери рассудка), хотя человеческих жертв, в силу особенностей существовавших тогда построек, почти не было (погибло три человека на берегу оз. Байкал во время ледолома и движения льда на берег, вызванного землетрясением).

По некоторым оценкам минимальная сила

Цаганского землетрясения – 10 баллов. А.В. Вознесенский, заставший живых свидетелей землетрясения и многочисленные рукописные документы по землетрясению в Восточно-Сибирском отделении географического общества, оценивал силу землетрясения до 11 баллов.

В районе побережья Цаганской степи (ныне залив Провал) при землетрясении произошли значительные деформации земной коры – образовались два сброса, длиной око-

ло 20 км каждый, и опущение по ним тектонического блока площадью около 230 кв. км до 7–8 м. (и ниже уровня оз. Байкал).

Постепенно ослабевая, повторные толчки продолжались 16 мес., особенно часто и сильно в январе и феврале 1862 г.

Сейсмическая активность подтверждается и систематическими землетрясениями в наши дни.

Крупнейшие землетрясения Прибайкалья 1885–2020 гг. приведены в табл. 1.

Таблица 1. Крупнейшие землетрясения Прибайкалья 1885–2020 гг.¹

Table 1. Largest earthquakes in the Baikal region 1885–2020

Название, дата	Координаты эпицентра	Магнитуда	Интенсивность в эпицентре, баллы
Великое Восточно-Сибирское землетрясение, 1 февраля 1725 г.	56,5 с. ш., 118,5 в. д. (ориентировочно)	8,2	11
Большое Южно-Байкальское Землетрясение, 27 июня 1742 г.	в районе Южного Байкала	7,7	10 (ориентировочно)
2 сентября 1814 г.	51,8 с. ш., 102,4 в. д. (ориентировочно)	6,4 (ориентировочно)	9 (ориентировочно)
8 марта 1829 г.	Западный фланг Тункинской системы впадин	7,0 (ориентировочно)	9 (ориентировочно)
Цаганское землетрясение, 12 января 1862 г.	52,3 с. ш., 106,7 в. д.	7,5	10
12 января 1885 г.	52,5 с. ш., 106,5 в. д.	6,7 (ориентировочно)	8–9 (ориентировочно)
12 апреля 1902 г.	51,6 с. ш., 104,5 в. д.	6,6 (ориентировочно)	8–9 (ориентировочно)
Байкальское землетрясение, 26 ноября 1903 г.	52,7 с. ш., 107,6 в. д.	6,7	8–9
Таннуольское, 9 июля 1905 г.	49,5 с. ш., 97,3 в. д.	7,6	10–11
Таннуольское, 23 июля 1905 г.	49,3 с. ш., 96,2 в. д.	8,3	11–12
Мондинское, 5 апреля 1950 г.	51,77 с. ш., 101,00 в. д.	7,0	9
Муйское, 27 июня 1957 г.	56,2 с. ш., 116,4 в. д.	7,6	10
Гоби-Алтайское, 4 декабря 1957 г.	45,1 с. ш., 99,4 в. д.	8,1	11
Среднебайкальское, 29 августа, 1959 г.	52,68 с. ш., 106,98 в. д.	6,8	9
Могодское, 5 января 1967 г.	48,1 с. ш., 102,9 в. д.	7,8	10
Култукское, 27 августа 2008 г.	51.61 с. ш., 104.07 в. д.	6,1	7–8

Предварительная оценка потенциальной сейсмической опасности территории будущих БЦБК и г. Байкальска проводилась в 1961–1962 гг. Восточно-Сибирским геологическим институтом СО АН СССР [4–18].

Выбор строительной площадки БЦБК был произведен без учета: крайне высокой сейсмической опасности территории (на краю сброса Черского и тектонически-активной Уту-

ликской депрессии); специфики микроклимата; геологического строения подводного склона оз. Байкал; направлений движения наносов; течений водных масс в озере; способов и направлений отвода потенциальных сточных вод, в том числе за водораздел озера; опасности от возможных паводковых селевых потоков.

Площадка выбрана на предгорной равнине

¹Ощутимые землетрясения Прибайкалья за период 1900–1949 гг. по макросейсмическим данным // Единая геофизическая служба Российской академии наук [Электронный ресурс]. URL: http://seis-bykl.ru/modules.php?name=Seismo_vz (01.10.2022).

шириной до 3 км и длиной около 15 км, с небольшим уклоном, с достаточно хорошими грунтами, расположенной между реками Утулик и Осиновка, ограниченная с южной стороны подножием хр. Хамар-Дабан, а с северной – оз. Байкал.

Речные и в большей мере озерные террасы и конусы выносов р. Утулик, Солзан и др. составили геоморфологический комплекс равнины.

В процессе работы была произведена оценка геологических факторов, влияющих на силу, землетрясений на территории БЦБК,

с предупреждением о возможных деформациях территории БЦБК – вплоть до ее опускания под уровень оз. Байкал при сильных землетрясениях.

Сейсмическая опасность территории БЦБК и г. Байкальска в целом и сейсмическое микрорайонирование были определены на основании инженерно-геологических исследований территории БЦБК и разделены на 6 сейсмических микрорайонов (рис. 1).

Расположен г. Байкальск на южном берегу оз. Байкал, в устье рек Солзан и Харлахта (рис. 2).

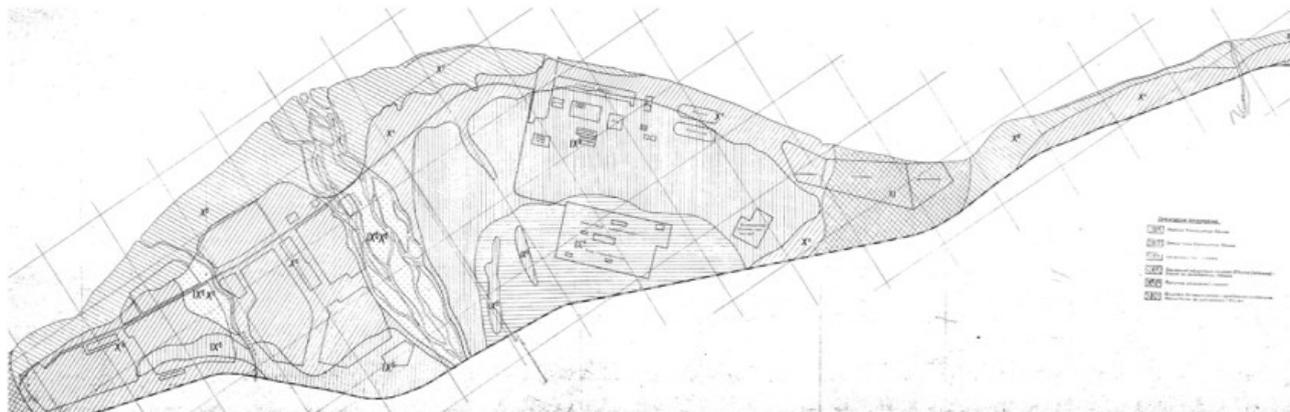


Рис. 1. Схема сейсмического районирования территории Байкальского целлюлозно-бумажного комбината и г. Байкальска, сост. В.П. Солоненко

Fig. 1. Scheme of seismic zoning of the territory of the BPPM and the city of Baikal'sk, compiled by V.P. Solonenko

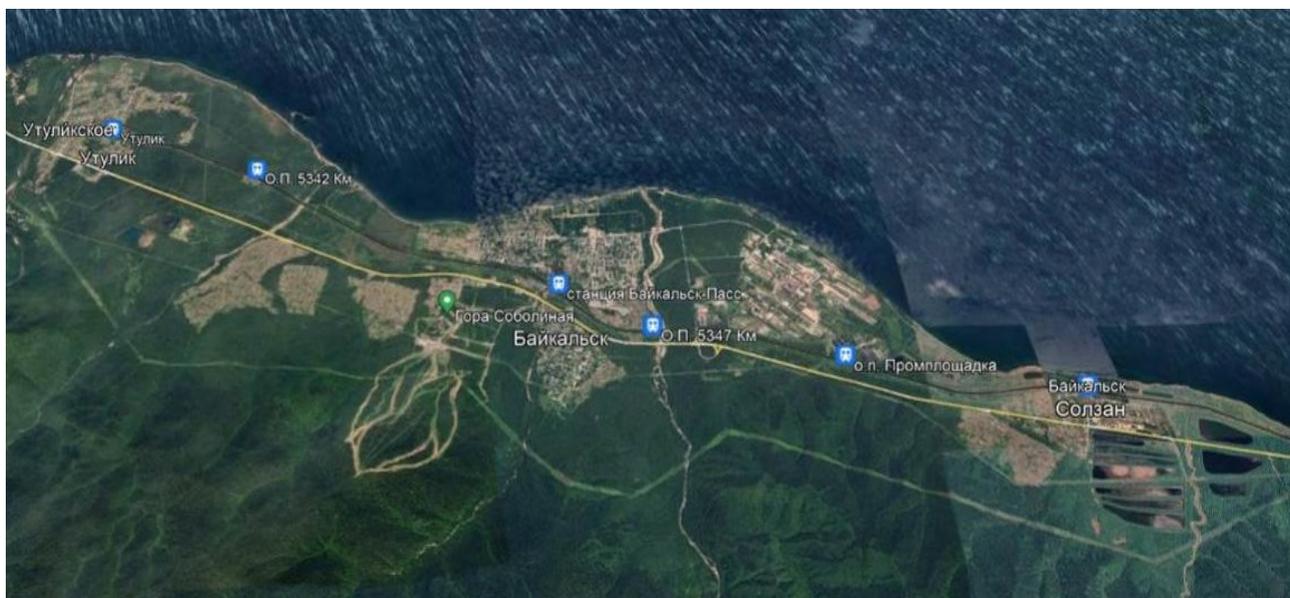


Рис. 2. Вид из космоса на г. Байкальск и его окрестности, 2022 г.²

Fig. 2. View from space on the city of Baikal'sk and its environs, Google Earth, 2022²

²Google Earth Pro // SoftPortal [Электронный ресурс]. URL: <https://www.softportal.com/software-38433-google-earth.html> (06.09.2022).

Оценка степени сейсмической опасности трех уровней (А, В, С) при средних грунтовых условиях, характерных для соответствующих регионов дана в комплекте карт ОСР-2015, СП 14.13330.2018 (Актуализированная редакция СНиП II-7-81*) «Строительство в сейсмических районах». Согласно картам Общего сейсмического районирования (ОСР-2015) сейсмическая опасность территории г. Байкальска оценивается как 9, 9, 10 баллов³.

В 1991 г. в ВостСибТИСИЗ для целей сейсмического районирования была выполнена

карта «Инженерно-геологического районирования территории перспективной застройки г. Байкальска» с определением индекса района категории грунтового комплекса по сейсмическим свойствам и индексов подрайонов; и карты сейсмического микрорайонирования (СМР) территории г. Байкальска. Типы частотных характеристик территории и их параметры приведены в табл. 2. Сейсмическая опасность определена в баллах, в том числе с указанием индекса (типа) частотных характеристик и их параметров (рис. 3).

Таблица 2. Типы частотных характеристик территории и их параметры
Table 2. Types of frequency characteristics of the territory and their parameters

Тип частотной характеристики	Периоды максимума частотных характеристик, с.	Амплитуды максимальной частотной характеристики, усл. ед.
1	0,12	5,0
2	0,3	4,8
3	0,22 0,18	6,3 7,0

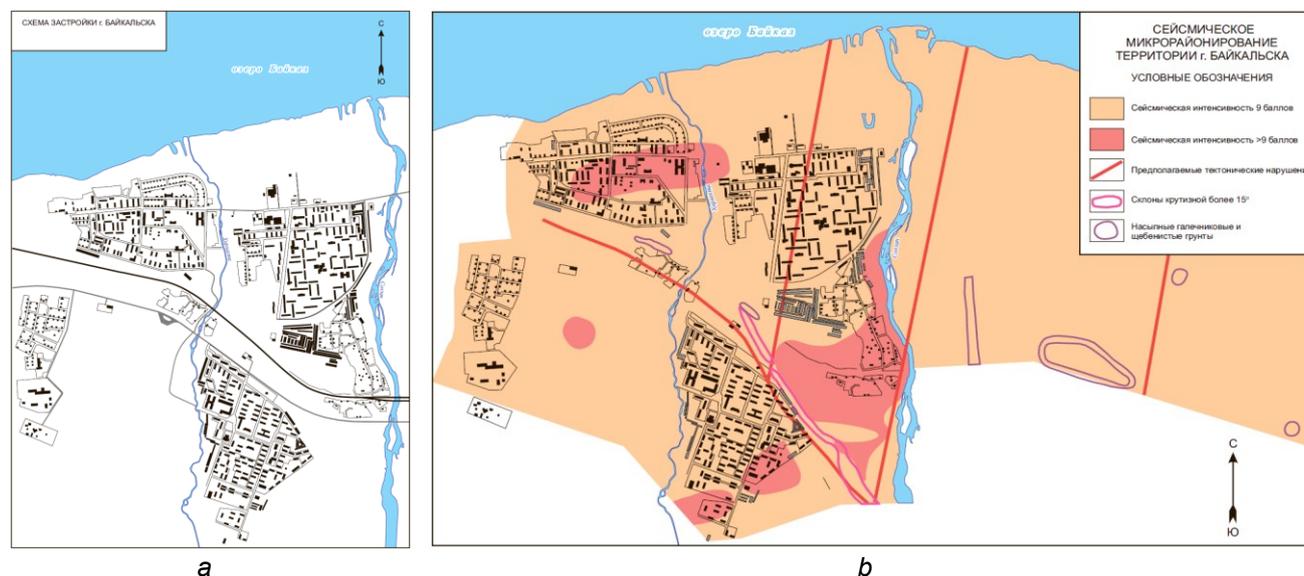


Рис. 3. Город Байкальск: *a* – схема застройки; *b* – карта сейсмического микрорайонирования территории, 1991 г.

Fig. 3. City of Baikalsk: *a* – building scheme; *b* – map of seismic microzoning of the territory, 1991

³Отчет ИЗК СО РАН о научно-исследовательской работе по теме «Разработка методики проведения обследования зданий типовой застройки с целью определения их сейсмостойкости и целесообразности сейсмоусиления». Иркутск, 2013. 124 с.;

Методика оценки и сертификации инженерной безопасности зданий и сооружений. М.: МЧС России, 2003. 85 с.;
 Проблемы комплексной реконструкции аварийного жилого фонда // Жилищное строительство. 1992 г. № 4.;
 СП 14.13330.2014. Свод правил. Строительство в сейсмических районах. М.: Минстрой России, 2018.;
 СНиП II-7-81* Строительство в сейсмических районах (с Изменениями и дополнениями) СП 14.13330.2010;
 СП 14.13330.2011 Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*;
 СП 14.13330.2018 Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81* (с Изменением N 1) // КонсультантПлюс [Электронный ресурс]. URL: <https://mchs.gov.ru/uploads/document/2022-03-22/8d06e4315ca36fbeb2dd493a7ec92c3b.pdf> (30.08.2022).

ГОСТ Р 53778-2010. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. М.: Стандартинформ, 2010. 90 с.

Основан г. Байкальск в 1961 г., как рабочий поселок в связи со строительством БЦБК и уже в 1966 г преобразован в город. Занимает положение в системе расселения как Байкальское муниципальное образование Слюдянского р-на Иркутской области. Город расположен на федеральной автодороге Р 258 «Байкал» и Транссибирской железнодорожной магистрали.

В процессе развития города в комплексе градообразующих факторов, а именно градообразующего предприятия, происходили изменения, начиная с самого первого этапа. Изначально БЦБК планировался для производства целлюлозного шинного корда для военного авиастроения, но уже к окончанию строительства необходимость в его производстве отпала, так как в авиастроении начали использовать металлический корд.

На стадии ввода (осенью 1966 г.) комбинат был переориентирован на производство целлюлозы (особо рентабельная – белёная целлюлоза для оборонной промышленности), бумаги и картона.

С первого года своей деятельности комбинат наносил экологический ущерб окружающей среде. В новых экономических условиях перестройки комбинат претерпел банкротство, а в 2013 г. прекратил свою работу. За годы работы комбината в 14 бассейнах-шламонакопителях скопилось и хранится более 6,2 млн м³ отходов IV класса опасности: шлам-лигнин, зола, древесная кора, промышленные и бытовые отходы, щёлочесодержащая жидкость. Десятки млн т отходов ежегодно сбрасывались в оз. Байкал. Экологическую опасность от последствий деятельности БЦБК несут хранящиеся отходы на промплощадке комбината, разрушающиеся корпуса комбината и пр.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Комплексная оценка территории г. Байкальска отображает результаты анализа комплексного развития территории (размещения селитебных, промышленных и рекреационных объектов). Градоформирующие факторы развития городского плана г. Байкальска – город одного предприятия, развивающийся в уникальных и ярко выраженных природно-климатических и ландшафтных условиях побережья оз. Байкал, и, как следствие, на планировочную структуру города значительное влияние оказали гидрография и рельеф местности. В планировочной структуре города отчетливо просматриваются градостроительные принципиальные подходы в природном контексте – «Подчинение» и «Игнорирование». Структура г. Байкальска изначально разделе-

на Транссибирской магистралью (и автомобильной трассой М55) на прибрежную и подгорную части, в каждой из которых расположено по два микрорайона: в прибрежной части микрорайоны «Гагарина» и «Строителей» (его часто называют «Поселок»); в подгорной части – «Южный» и «Красный Ключ». Площадь города составляет 52 км² с численностью населения 13 199 чел. (2021 г.). В настоящее время ключевой градоформирующий фактор – БЦБК – утрачен, и сложились условия для кардинальной смены градоформирующей концепции, и как следствие, трансформации жилой среды.

Жилая застройка г. Байкальска формируется с 1961 г. со строительства 1-этажных деревянных общежитий из бруса на территории «Поселка». В микрорайоне «Строитель» жилая застройка представлена преимущественно 1–2-этажными деревянными жилыми зданиями со стенами из бруса, и в меньшей мере – 1–3-этажными кирпичными зданиями и 1-этажными крупнопанельными домами. В микрорайоне «Гагарина» жилая массовая застройка представлена преимущественно типовыми крупнопанельными жилыми зданиями серий: 1-335КС, И-163.04 (вариант ИГП), И-163.02 высотой 2, 3 и 5 этажей; жилыми зданиями с кирпичными несущими стенами высотой 2 и 3 этажа; 2-этажными деревянными жилыми зданиями со стенами из бруса. Микрорайон «Южный» территориально разделен на четыре квартала. Застройку I-го и III-го кварталов составляют 2-этажные деревянные дома со стенами из бруса; жилой фонд II и IV-го кварталов состоит из 3-этажных панельных и 2-этажных деревянных жилых домов со стенами из бруса, причем крупнопанельные 3-этажные дома встречаются редко – 3 и 4 шт. в каждом квартале соответственно. Практически вся застройка микрорайона «Красный Ключ» представлена одноэтажными деревянными жилыми зданиями, за исключением зданий гостиниц и медсанчасти. Кроме того, в городе имеются кирпичные и каркасно-панельные здания социального назначения, высотой до 3-х этажей. Структура жилищного фонда г. Байкальска: кирпичные здания 7,9%; КПД 47,7%; деревянные здания 43,5%; шлакоблочные здания 0,3%; прочие здания 0,6%. Основные типовые серии в застройке города представлены в табл. 3. Опыт внедрения крупнопанельных жилых домов на площадках с сейсмичностью 9 баллов в г. Байкальске прослежен на примере внедрения жилых домов из изделий серии И-163.04 (типичные жилые здания для городского строительства второй половины XX в).

Таблица 3. Типы жилых домов массового применения, г. Байкальск
Table 3. Typical residential buildings, Baikalsk

Наименование	Общий вид, детали
<p>Жилые 5-этажные крупнопанельные дома в конструкциях серии И-163.02, разработанной в 9-этажном варианте, но в г. Байкальске при расчетной сейсмичности 9 баллов, примененной в 5-этажном варианте: <i>a</i> – общий вид в застройке; <i>b</i> – общий вид с Юго-Востока; <i>c</i> – западный фасад; <i>d</i> – фрагмент фасада с повреждениями (отслоение в следствие проседания); <i>e</i> – фрагмент фасада с повреждениями (смятие, вследствие неравномерного проседания); <i>f</i> – фрагмент цоколя с повреждениями (отслаивание); <i>g, h, i</i> – фрагменты фасадов с повреждениями (вертикальные трещины)</p>	
<p>Жилые 3-этажные крупнопанельные дома в конструкциях серии И-163.04 (вариант Института Иркутскгражданпроекта): <i>a, b, c</i> – общий вид в застройке; <i>d</i> – фрагмент главного и торцевого фасада; <i>i</i> – фрагмент цоколя, с повреждениями (нарушение отмостки); <i>f</i> – фрагмент входа с повреждениями (косые трещины); <i>g</i> – элемент конструкции крыши, вид со стороны главного фасада); <i>h</i> – элемент конструкции крыши, вид со стороны торцевого фасада)</p>	

Продолжение табл. 3

Наименование	Общий вид, детали
	 <p style="text-align: center;"> <i>c</i> <i>d</i> <i>e</i> <i>f</i> <i>g</i> <i>h</i> </p>
<p>Жилые 3-этажные крупнопанельные дома серии 1-335с (вариант института «Оргстройпроект»): <i>a</i> – продольный фасад 1 (со стороны входа) и торцевой фасад; <i>b</i> - продольный фасад 2 (без входов) и торцевой фасад</p>	 <p style="text-align: center;"> <i>a</i> <i>b</i> </p>
<p>Жилые дома с несущими стенами из кирпича: <i>a</i> – 3-этажный; <i>б</i> – 4-х этажный</p>	 <p style="text-align: center;"> <i>a</i> <i>b</i> </p>

Продолжение табл. 3

Наименование	Общий вид, детали	
<p>Жилые 2-этажные многоквартирные деревянные дома со стенами из бруса: <i>a, b, c</i> – общий вид застройки; <i>d</i> – южный фасад здания (со стороны входов); <i>e</i> – восточный фасад здания (торец со входом в подвал); <i>f</i> – фрагмент цоколя (разрушение обшивки); <i>g</i> – фрагмент здания с демонтированной обшивкой; <i>h</i> – фрагмент здания в процессе установки новой обшивки; <i>i</i> – общий вид здания с обновленной обшивкой; <i>j</i> – фрагмент здания – вход в подвал</p>		
		
		
		
		
		
<p>Жилой 2-этажный крупнопанельный дом галерейного типа: <i>a</i> – общий вид здания; <i>b</i> – фрагмент железобетонной панели с оконным проемом, повреждение (горизонтальные трещины по толщине панели); <i>c</i> – фрагмент цоколя, повреждение (нарушение примыкания к отмостке); <i>d</i> – фрагменты торцевой железобетонной панели и железобетонной панели с оконным проемом, повреждение, (вертикальные трещины в месте стыка панелей); <i>e</i> – фрагмент лестницы и галереи</p>		
		
		

Окончание табл. 3

Наименование	Общий вид, детали	
<p>Жилые 1-этажные бревенчатые частные здания (типичная застройка): <i>a</i> – общий вид в застройке; <i>b</i> – фрагмент фасада с полисадником; <i>c</i> – фасад блокированного дома усадебного типа; <i>d</i> – фрагмент цоколя здания (повреждения нижних венцов)</p>	 <p style="text-align: center;"><i>a</i></p>	 <p style="text-align: center;"><i>b</i></p>
	 <p style="text-align: center;"><i>c</i></p>	 <p style="text-align: center;"><i>d</i></p>

Типовые проекты 5-этажных жилых домов серии И-163.04 для 8-балльного варианта, разработанны ЛенЗНИИЭП и утверждены ГОССТРОЕМ СССР, датированы 1973 г. Индивидуальные проекты 3-этажных блок-секций на 9-балльных площадках повторного применения выполнены институтом Иркутскгражданпроект в 1977 г. на базе серии И-163.04 в соответствии с действовавшими нормами и правилами и согласованы местными контролирующими органами. Сибирский филиал ОргстройНИИпроект дополнил эти проекты вариантом посадки 3-этажных блок-секций на крутом рельефе за счет введения цокольного этажа, получив 4-этажный вариант блок-секций.

Конструктивная схема смешанная, воспринимает горизонтальные и вертикальные нагрузки. Каркас предназначен для восприятия только вертикальных нагрузок и состоит из железобетонных колонн сечением 300x400 мм, расположенных по средней оси здания, и пристенных колонн сечением 200x400 мм. В поперечном направлении на колонны укладываются прогоны прямоугольного сечения 200x350 мм. Горизонтальные сейсмические нагрузки в поперечном направлении воспринимаются торцевыми наружными стенами из газозолобетона и стеновыми элементами из тяжелого бетона – вентиляционными панелями, межсекционными стенами и плоскими стеновыми панелями. В продольном направлении – наружными стенами из газозолобетона и перегородками жесткости из тяжелого бетона толщиной 160 мм (по внутренней продольной оси).

Все наружные стены являются самонесущими, однако за счет связи с плоскими железобетонными плитами перекрытий с помощью сварки закладных деталей они также участвуют в восприятии горизонтальных сейсмических нагрузок.

Однако в месте установки стеновых элементов – вентиляционных панелей и межсекционных стен – колонны и ригели отсутствуют и вертикальные и горизонтальные нагрузки воспринимаются указанными стеновыми конструкциями, что приводит к нечеткому характеру передачи этих нагрузок из-за смешанной схемы жилого дома. Перекрытия выполняются из сплошных плоских железобетонных плит толщиной 100 мм размером на комнату. Плиты перекрытия опираются на прогоны и вентиляционные блоки и межсекционные стены. Соединение конструктивных элементов стен, перекрытий и других железобетонных изделий осуществляется с помощью сварки закладных деталей с последующей заделкой узлов и швов раствором марки М100. Толщина наружных стеновых панелей из газозолобетона неавтоклавного твердения – 400 мм, класс по прочности – В 3.5 (марка М50) при объемной массе 850 кг/м³. В проекте вентиляционные панели с круглыми пустотами толщиной 280 мм должны иметь класс по прочности тяжелого бетона В 7.5 (марка М100), однако по технологическим причинам фактический класс по прочности составляет В 15 (марка М200). Класс по прочности остальных железобетонных элементов конструкций не менее В 15 (марка М200). Межсекционные стены выполнены из железобетона толщиной 160 мм.

Основные проблемы, связанные с конструктивными решениями и строительством зданий этой серии следующие: поперечные стены лестничной клетки не имеют продолжения и не являются сквозными, несоответствие класса бетона наружных торцевых стен, недостаточный контроль качества сварки закладных деталей, проектного размера опирания плит перекрытий и качества заделки вертикальных и горизонтальных швов.

Здания строятся на расстоянии друг от друга 5 и более метров; на площадках равнинных и малым уклоном рельефа – приблизительно 90%, на площадках с активным рельефом – приблизительно 1,5–10%.

Основные объемно-планировочные характеристики: прямоугольные блок-секции, 3 этажа; рядовая секция включает 12 квартир (4 квартиры на этаже); одна лестничная клетка с одним главным входом в каждой блок-секции; проемность окон и дверей 21–26% и 8–12% соответственно.

В процессе эксплуатации при перепланировке обычно пробивают в наружных и внутренних стенах проемы для устройства дверей, монтируют и демонтируют перегородки.

Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости здания были проведены на опытном образце со следующими характеристиками: полномасштабный натуральный фрагмент торцевой блок-секции серии И-163.04; размер фрагмента в плане – 11,6×15,4 м; этажность – 3; высота типового этажа – 2,7; масса фрагмента – 600 т; тип здания по шкале ММСК – 92 – С7; тип фунда-

мента – ленточный; вид натуральных испытаний – вибрационные; тип вибрмашины – В-3 (рис. 4).

Основные результаты натуральных испытаний: резонансная частота начальная, Гц – 4,08; резонансная частота конечная, Гц – 1,96; максимальные ускорения на покрытии, в долях g – 0,38; отношение $S_{экв}/S_{расч}$ – 2,1. Периоды собственных колебаний зданий при микросейсмах:

$$T_{пол.} = 0,14 \text{ с}; T_{прод.} = 0,157 \text{ с}.$$

На основании выполненных вибрационных испытаний выявлено:

- 1) нечеткое и случайное участие наружных самонесущих стен в восприятии сейсмических нагрузок в продольном направлении;
- 2) высокая податливость и малая несущая способность продольных наружных стен;
- 3) повреждения или разрушения стыковых соединений и нарушение анкеровки закладных деталей при соединении газозолобетонных стен между собой;
- 4) повреждение стыковых соединений между панелями наружных стен и плитами перекрытий;
- 5) разрушение перемычек в панелях лестничной клетки по внутренней продольной оси здания;
- 6) тяжелые повреждения или обрушения межкомнатных перегородок на 4-м и 5-м этажах и значительные повреждения и смещения на 1–3 этажах, причина которых – неудачное конструктивное решение крепления перегородок с помощью арматурных выпусков из ригеля.



a



b

Рис. 4. Крупнопанельные жилые дома в конструкциях серии И-163.04:
a – северный фасад 3-этажного жилого дома, г. Байкальск; *b* – общий вид опытного 3-этажного фрагмента серии И-163.04 в момент вибрационных испытаний, г. Ангарск

Fig. 4. Large-panel residential buildings in the designs of the I-163.04 series:
a – Northern facade of a 3-storey residential building, Baikalsk; *b* – general view of the experimental 3-storey fragment of the I-163.04 series at the time of vibration testing, Angarsk

На основании полученных результатов экспериментальных исследований были выработаны общие рекомендации по применению и усовершенствованию технических решений:

1) для обеспечения безопасности людей, проживающих в жилых домах этой серии на площадках с сейсмичностью 8 баллов, необходимо переработать узлы крепления перегородок к примыкающим несущим конструкциям здания, исключив возможность их обрушения при землетрясениях;

2) необходимо разработать конструктивные мероприятия, обеспечивающие надежную анкеровку закладных деталей в теле газобетонных панелей (в варианте с 3-слойными панелями наружных стен анкеровка закладных деталей обеспечена);

3) внутренняя продольная стена должна быть сквозной на всю длину здания за счет установки панелей жесткости;

4) устройство сборных фундаментов недопустимо;

5) лоджии в здании должны быть исключены, взамен предусмотреть устройство балконов с выносом не более 0,9 м.

На основе исследований зданий г. Байкальска лабораторией сейсмостойкого строительства СО РАН выполнены расчеты сейсмического риска с учетом основных типологических признаков жилой застройки, характеризующих степень сейсмической устойчивости жилых зданий для сценариев землетрясений с интенсивностью 7, 8 и 9 баллов согласно шкале сейсмической интенсивности MMSK-86 (MSK-64) [4]:

– периоды строительства (сопоставление требований сейсмостойкого строительства, действующих на период строительства здания и действующих ныне требований);

– конструктивные системы (жесткость здания и целостность конструктивных элементов при сейсмическом воздействии и т.п.);

– строительные материалы;

– технологии возведения;

– физический и сейсмический износ, т.е. свойства жилой застройки, жилых зданий брать свои качественные или количественные эксплуатационные показатели, прежде всего надежность и безопасность вследствие износа и/или сейсмического воздействия и др.

К факторам конструктивной уязвимости исследуемых зданий, кроме перечисленных выше, относятся свойства объемно-планировочных решений – предпочтительны здания с регулярными симметричными планировочными решениями и с конструктивными элементами, обеспечивающими совмещение центра тяжести и центра жесткости. Исследуемые здания преимущественно имеют регу-

лярные планировочные решения. Факторы планировочной уязвимости застройки – гидрогеологические условия (см. выше); рельеф местности и ландшафтные условия – благоприятны; мощная развитая корневая система деревьев, кустарников и травяных покровов; отсутствие эрозии почвы и др.; застройка рассредоточенная и малозэтажная. Произведена оценка средневзвешенной уязвимости (средней степени поврежденной) застройки г. Байкальска и относительного экономического ущерба застройки г. Байкальска. Анализ прогностической средневзвешенной уязвимости застройки г. Байкальска при землетрясениях 7, 8 и 9 баллов (рис. 5).

Огромный опыт послевоенной перестройки городов был широко распространен в Европе. Во время второй мировой войны многие здания в европейских городах, как зарубежных, так и российских были разрушены бомбардировками, так как удары гитлеровской авиации были сосредоточены в густонаселенных районах и центрах. Была проведена масштабная работа по восстановлению городов. В связи с огромными разрушениями и изменениями в функциональных потребностях в значительной части городов проводилась реконструкция. Возможности трансформации городов были направлены преимущественно на переустройство и совершенствование планировочных структур городов. Трактовка концепций проектов реконструкции основывалась на масштаб и уровень поставленных задач конкретных городов. С одной стороны, восстанавливались ценные архитектурные объекты и комплексы и трансформировались транспортные сети городов – основные и второстепенные общегородские магистрали – с другой. Формировались новые жилые районы. Жилые микрорайоны проектировались с большим диапазоном численности населения и разной плотности (чел/га). Сеть транспортных магистралей формировала границы жилых районов, а сеть внутренних улиц обеспечивала доступ в структуре жилой застройки. Повышалась этажность жилых зданий. Опыт трансформации постиндустриальных городов также получил широкую мировую и отечественную практику. Жилая застройка – формообразующая часть архитектурной среды г. Байкальска, в современном прочтении отражает структуру расселения населения во взаимодействии с природной средой и социальными связями.

Основные цели стратегического мастер-плана развития г. Байкальска:

- 1) повышение качества жизни населения;
- 2) экономический рост города и региона;
- 3) ликвидация накопленного вреда окружающей среде и предотвращение загрязнения оз. Байкал.

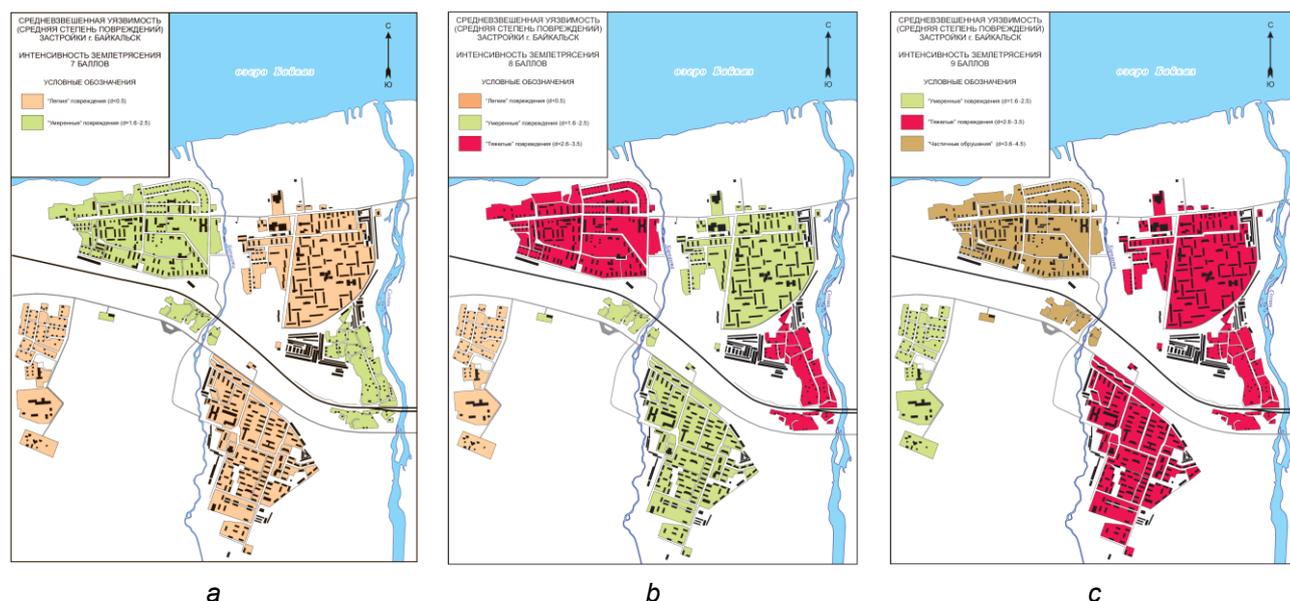


Рис. 5. г. Байкальск. Анализ прогностической средневзвешенной уязвимости застройки г. Байкальска при землетрясениях, баллов: *a* – 7; *b* – 8; *c* – 9
Fig. 5. Baikalsk. Analysis of the prognostic weighted average vulnerability of the development of the city of Baikalsk during earthquakes, points: *a* – 7; *b* – 8; *c* – 9

Задачи Стратегического мастер-плана:

- 1) улучшение качества жизни горожан за счет обновления городской застройки и развития социальной инфраструктуры;
- 2) повышение качества городской среды путем создания общественных пространств и включения природных объектов в городской ландшафт;
- 3) модернизация транспортной сети с акцентом на развитие велосипедных маршрутов;
- 4) модернизация и реконструкция инженерных сетей и систем;
- 5) внедрение цифровых технологий во все сферы жизни города;
- 6) развитие сферы туризма с учетом максимально допустимой антропогенной нагрузки;
- 7) формирование экосистемы экологически чистого производства агропромышленной продукции;
- 8) ликвидация накопленного вреда окружающей среде в результате деятельности БЦБК, рекультивация промышленной площадки и комплексное развитие территории⁴.

В условиях постиндустриальной трансформации г. Байкальска со сменой градоформирующей функциональной направленности и глобальных изменений уровня технологий формирование новой модели жилой среды в

мировой практике (в контексте формирования нового типа жилья, удовлетворяющего основные потребности человека в контексте взаимодействия человека со средой) происходит в тесной связи с природным комплексом.

Архитектура современного жилья с компонентом цифровых технологий, управляющими функциями жилья («умный дом» в новом прочтении – экологичный, энергосберегающий, функциональный и информационный) и взаимодействия с социальной и коммуникативными инфраструктурами призвана обеспечить персонализированный подход в соответствии с родом деятельности человека, его потребностей и экономических возможностей.

При формировании структуры жилой среды необходимо учитывать основные потенциальные направления деятельности населения города – научное, оздоровительное, туристическое и спортивное.

Гармонизация и оптимизация соотношения видов деятельности населения позволит решить задачи культурного, социального, психологического и физиологического комфорта для населения в целом.

Эстетическая и художественная составляющие организации пространства жилой среды, поддерживающие образ места в соответствии с социальной структурой и субъективными способностями восприятия простран-

⁴Стратегический Мастер-План комплексного развития г. Байкальска до 2040 г. 4-я ред. (октябрь 2021 г.) // Ян-декс. 360 [Электронный ресурс]. URL: <https://disk.yandex.ru/i/CL54gnbISv1Zg> (25.10.2022).

ственного цветосветового контента окружения, создаются с обязательным обеспечением физиологических потребностей посредством обеспечения оптимальной функциональной организации, обеспечении коммуникаций разного уровня и качества: социальные (деятельность, обслуживание, общение), транспортные, пешеходные и пр.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные концептуальные направления реорганизации жилой среды г. Байкальска вырабатываются в процессе трансформации градообразующей функциональной структуры.

Основными источниками, нарушающими баланс между биосферой и техносферой, как правило, являются промышленные предприятия и транспортные коммуникации. В Байкальске значительные нарушения геосистемы были получены при строительстве линейных инженерных и транспортных инфраструктур, а также при строительстве и эксплуатации крупных промышленных площадок, зданий и сооружений БЦБК, при этом нанесен значительный экологический ущерб. Планировочные и стилистические приемы модернизации планировки города следует увязывать с уже сформировавшимися линейными инженерными и транспортными структурами во избежание новых нарушений существующей ныне геосистемы. Актуальность сложных задач сохранения геосистемы аргументирована требованиями, предупреждающими ухудшение сейсмогеологических и геотектонических условий, которые могут ещё в большей мере усугубить повышенную сейсмическую активность региона последних лет. В значительной мере ограничение дополнительных антропогенных нагрузок можно достичь посредством развития застройки в существующих границах уже освоенных территорий города, обеспечив сохранность уникального природного комплекса побережья и оз. Байкал.

В том числе устранение и предупреждение негативных проявлений (размыва, оползневых процессов, наледей и пр.) непосредственно на береговой полосе оз. Байкал средствами архитектурного и вертикального планирования и организации территорий, а также инженерной защиты территорий.

Повысит привлекательность города рекультивация и сохранение уникального природного комплекса.

Повышение качества архитектуры с учетом опыта, приобретенного при строительстве зданий в Байкальске в части их конструирования и эксплуатационных свойств, в специфиче-

ческих сейсмогеологических условиях позволит предотвратить уже на стадии проектирования нежелательные проявления зданий (ощутимые колебания, деформации, повреждения, разрушения) при землетрясениях и улучшить их эксплуатационные качества.

Мероприятия при формировании оптимальной модели жилой застройки в структуре трансформирующегося города, в условиях, способных понизить сейсмический риск, вырабатывается средствами способов геометрического заполнения пространства с преобладающими свойствами:

а) понижение этажности зданий в зависимости от соответствия объемно-планировочной и структуры и конструктивной модели;

б) понижение плотности населения ниже нормативной на 15–20%;

в) понижение плотности застройки – высвобождение свободных пространств, в том числе обеспечивающих соблюдение «желтых» линий;

г) регулирование массы застройки (зданий) в соответствии со свойствами существующего гидрогеологического комплекса с целью предотвращения негативных геологических процессов;

д) разработка компоновочных структур элементов застройки с учетом ландшафта, в том числе в зависимости от рельефа для обеспечения сейсмоустойчивости и сейсмической безопасности.

Вариативность архитектурно-планировочных типов жилых зданий (объемных композиций, фасадов, квартир и прочих) в высокой степени следует гармонизировать с природными особенностями территории и учитывать потребности населения, ориентированного на новые функциональные виды деятельности населения; новые строительные и цифровые технологии, способные расширить возможности формообразования средствами вариативности конструктивных типов жилых зданий, обеспечивающих требуемую сейсмостойкость зданий на протяжении всего эксплуатационного срока.

Следует также использовать традиционные и новые инструменты (планировочные – устройство оптимальных путей эвакуации, гашение сейсмических колебаний зданий и пр.) при разработке архитектурно-планировочных, технологических и конструктивных решений обеспечивающие психологический комфорт во время землетрясения и превентивные мероприятия.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Леви К. Г., Бержинская Л. П., Бержинский Ю. А., Гилева Н. А., Имаев В. С., Лухнев А. В., и др. Култукское землетрясение // *Природа*. 2009. № 7 (1127). С. 56–63.
2. Голенецкий С.И., Хромовских В.С., Кисловская В.В., Кондорская Н.В., Солоненко В.П., Шебалин Н.В. В. Прибайкалье [(2000 до н.э. – 500 н.э.) – 1974 гг.; M>5,0; /O>6] // [Электронный ресурс]. URL: <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-novyy-katalog-silnyh-zemletryaseniy-na-territorii-sssr-s-drevneyshih-vremen> (25.09.2022).
3. Голенецкий С.И. Землетрясения в Иркутске. Иркутск: Имя, 1997. 96 с.
4. Лисициан М.В., Пашковский В.Л., Петунина З.В. Архитектурное проектирование жилых зданий / Под ред. М.В. Лисициана, Е.С. Пронина. М.: Архитектура-С, 2006. 448 с.
5. Большаков А. Г. Метод оценки геометрии городского ландшафта по условиям его жизнепригодности // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2010. № 5 (45). С. 86–88.
6. Большаков А. Г. Оценка морфотипов застройки как отражения интересов и ценностей городского сообщества и их баланс как принцип градостроительной регенерации исторического центра // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2012. № 9 (68). С. 89–97.
7. Вавилова Т.Я. Обзор современных зарубежных концепций экологизации среды жизнедеятельности // *Градостроительство и архитектура*. 2019. Т. 9. № 3. С. 113–125. <https://doi.org/0.17673/Vestnik.2019.03.15>.
8. Ключевский А.В., Демьянович В.М., Джурик В.И. Иерархия сильных землетрясений Байкальской рифтовой системы // *Геология и геофизика*. 2009. Т. 50. № 3. С. 279–288.
9. Коссаковский В.А., Чистова В.А. Архитектурная композиция жилого дома. М.: Стройиздат, 1990. 237 с.
10. Кусаинов А.А., Ильичев В.А., Ботабеков А.К., Хенкель Ф.О., Шальк М., Холь Д. Проектирование сейсмостойких конструкций с комплектными системами сухого строительства / Под общ. ред. А.А. Кусаинова и В.А. Ильичева. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2008. 272 с.
11. Матвеев Е.П. Реконструкция жилых зданий. В двух частях. Часть II. Индустриальные технологии реконструкции жилых зданий различных периодов постройки. М.: ГУП ЦПП, 1999. 364 с.
12. Минабутдинова А. Р., Агишева И. Н. Принципы формирования трансформируемого жилого пространства // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2019. № 3 (49). С. 62–69.
13. Иванов М.К. Некоторые аспекты формирования жилища в условиях высокой сейсмичности территорий: материалы науч. конф. Московского архитектурно-строительного института. М., 1991.
14. Долголюк А.А., Букин С.С., Тимошенко А.И. Опыт решения жилищной проблемы в городах Сибири в XX – нач. XXI вв: сб. науч. трудов. Новосибирск: Параллель, 2008. 216 с.
15. Логинов О.П. Проблемы комплексной реконструкции аварийного жилого фонда // *Жилищное строительство*. 1992 г. № 4. С. 12–18.
16. Аптикаев Ф.Ф., Эртелева О.О., Бержинский Ю.А., Клячко М.А., Шестоперов Г.С., Стром А.Л. Шкала интенсивности землетрясений. Проект новой Российской сейсмической шкалы // *Инженерные изыскания*. 2011. № 10. С. 62–85.
17. Саландаева О.И. Формирование архитектурно-конструктивных приемов жилой застройки г. Иркутска в условиях высокой сейсмичности // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2015. № 2. С. 132–144.
18. Murzabayeva K., Lapshina E., Tuyakayeva A. Modernization of the Living Environment Space Using the Example of an Urban Array of Residential Buildings from the Soviet Period in Almaty // *Buildings*. 2022. No. 12. P. 1042.

REFERENCES

1. Levi K. G., Berginskaya L. P., Berzhinsky Yu. A., Gileva N. A., Imaev V. S., Lukhnev A. V. Kultuk earthquake. *Priroda*. 2009;7:56-63. (In Russ.).
2. Golenetsky S., Khromovskikh B.C. (responsible compiler), Kislovskaya V.V., Kondorskaya N.V., Solonenko V.P., Shebalin N.V. V. Baikal region [(2000 BC - 500 AD) – 1974; M>5.0; /O>6]. Available from: <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-novyy-katalog-silnyh-zemletryaseniy-na-territorii-sssr-s-drevneyshih-vremen.pdf> [25th September 2022]. (In Russ.).
3. Golenetsky S.I. Earthquakes in Irkutsk. Irkutsk: Name, 1997. 96 p. (In Russ.).
4. Lisitsian M.V., Pashkovsky V.L., Petunina Z.V., et al. Architectural design of residential buildings. M.V. Lisitsian, E.S. Pronin (Eds.). Moscow: Architecture-S; 2006. 448 p. (In Russ.).
5. Bolshakov A.G. Method for assessing the geometry of the urban landscape according to the conditions of its viability. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta = Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2010;5(45):86-88. (In Russ.).
6. Bolshakov A.G. Assessment of building morphotypes as a reflection of the interests and values of the urban community and their balance as a prin-

- ciple of urban regeneration of the historical center. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta = Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2012;9(68):89-97. (In Russ.).
7. Vavilova T.Ya. Review of modern foreign concepts of ecologization of the living environment. *Urban planning and architecture*. 2019;9(3):113-125. (In Russ.). <https://doi.org/0.17673/Vestnik.2019.03.15>.
8. Klyuchevsky A.V., Demyanovich V.M., Dzhurik V.I. Hierarchy of strong earthquakes in the Baikal rift system. *Geology and Geophysics*. 2009;50(3):279-288. (In Russ.).
9. Kossakovsky V.A., Chistova V.A. Architectural composition of a residential building. Moscow: Stroyizdat, 1990. 237 p. (In Russ.).
10. Kusainov A.A., Ilyichev V.A., Botabekov A.K., Henkel F.O., Schalk M., Khol' D. Designing of earthquake-resistant structures with complete systems of dry construction. Under the general editorship of A.A. Kusainov and V.A. Ilyichev. M.: PH of the Association of Construction Universities; 2008. 272 p. (In Russ.).
11. Matveev E.P. Reconstruction of residential buildings. In two parts. Part II. Industrial technologies for the reconstruction of residential buildings of various periods of construction. Moscow: GUP TsPP; 1999. 364 p. (In Russ.).
12. Minabutdinova A. R., Agisheva I. N. Principles of the formation of a transformable living space. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta = News of the Kazan State University of Architecture and Engineering*. 2019;3(49):62-69. (In Russ.).
13. Ivanov M.K. Some aspects of housing formation in conditions of high seismicity of territories. *Materialy nauchnoi konferentsii Moskovskogo arkhitekturno-stroitel'nogo instituta = Materials of the Scientific Conference of the Moscow Architectural Institute*. Moscow; 1991.
14. Dolgolyuk A.A., Bukin S.S., Timoshenko A.I. Experience in solving the housing problem in the cities of Siberia in the XX - early. 21st century. Novosibirsk: Parallel; 2008. 216 p.
15. Loginov O.P. Problems of complex reconstruction of emergency housing stock. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 1992;4:12-18. (In Russ.).
16. Aptikaev F.F., Erteleva O.O., Berzhinskii Yu.A., Klyachko M.A., Shestoporov G.S., Strom A.L. Project of a new Russian seismic scale GOST R "Earthquake Intensity Scale". *All-Russian Scientific and Analytical Journal of Engineering Surveys*. 2011;10:62-85. (In Russ.).
17. Salandaeva O.I. Formation of architectural and constructive methods of residential development in Irkutsk in conditions of high seismicity. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta = Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2015;2:132-144. (In Russ.).
18. Murzabayeva K., Lapshina E., Tuyakayeva A. Modernization of the Living Environment Space Using the Example of an Urban Array of Residential Buildings from the Soviet Period in Almaty. *Buildings*. 2022;12:1042.

Информация об авторах

Саландаева Ольга Ивановна,

доцент кафедры архитектуры
и градостроительства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
член Союза архитекторов России,
ведущий инженер отдела
сейсмостойкого строительства,
Институт земной коры СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия,
e-mail: salandaeva@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6887-4113>

Бержинская Лидия Петровна,

к.т.н., 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: Berj.LP@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1591-2091>

Information about the authors

Olga I. Salandaeva,

Associate Professor Department of Architecture
and Urban Planning,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
Member of the Union of Architects of 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
<https://orcid.org/0000-0002-6887-4113>

Lidiya P. Berzhinskaya,

Cand. Sci. (Eng.), 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,
Earth's Crust SB RAS,
128 Lermontov St., Irkutsk 664033, Russia,
e-mail: Berj.LP@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1591-2091>

Усатый Роман Анатольевич

преподаватель кафедры
строительного производства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
руководитель отдела
сейсмостойкого строительства,
Институт земной коры СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия,
главный инженер проектов,
ООО «Фама Про»,
664017, г. Иркутск, Лермонтова, 343/3, Россия,
e-mail: uroman@inbox.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7906-2663>

Roman A. Usatyy,

Teacher Department
of building production,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
Head of the Earthquake
Engineering Department,
Earth's Crust SB RAS,
128 Lermontov St., Irkutsk 664033, Russia,
Chief project engineer,
Fama Pro LLC,
343/3 Lermontov St., Irkutsk 664017, Russia,
e-mail: uroman@inbox.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7906-2663>

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

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

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 12.01.2023.
Одобрена после рецензирования 27.01.2023.
Принята к публикации 30.01.2023.

Information about the article

The article was submitted 12.01.2023.
Approved after reviewing 27.01.2023.
Accepted for publication 30.01.2023.



Пространственная интеграция структуры застройки исторического центра г. Иркутска

Р.А. Селиванов^{1✉}, А.Г. Большаков²

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

Аннотация. Целью работы является исследование проблемы целостности городской ткани исторического центра г. Иркутска в аспекте взаимодействия городских морфотипов с их функциональным использованием в совокупности с ориентацией перемещений по городу. Изучены теоретические предпосылки к изучению вопросов интеграции застройки исторического города, в том числе отечественные подходы к работе с «достопримечательными местами». Выявлено два принципиально различных подхода: первый затрагивает проблемы организации пространственной структуры и формообразования; во втором исследуются социально-функциональные вопросы среды, ее когнитивно-психологические аспекты. Для отечественных подходов в работе с «достопримечательными местами» характерно деление города на зоны и подзоны охраны, каждой из которых соответствует свой вид реконструкции, регенерации, преобразования. В данной работе традиционные подходы к охранному зонированию города и регламентации зон дополняются новым подходом по топологическому регулированию застройки. Выявлены этапы эволюции застройки «достопримечательного места» центра г. Иркутска. Исследование включало хронологический анализ публикаций иркутских авторов о развитии «места» как исторической части города, начиная с периода первоначального освоения территории (вторая половина XVII в.) до начала XXI в. Содержание этапов является новым в аспекте застройки. Исследование выявило эволюцию застройки г. Иркутска с середины XVII в. до первого десятилетия XXI в., а также подходы к организации прилегающих к зданиям территорий между собой.

Ключевые слова: морфотип, пространственная структура, фрагментация городской ткани, градостроительный конфликт

Для цитирования: Селиванов Р.А., Большаков А.Г. Пространственная интеграция структуры застройки исторического центра г. Иркутска // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 1. С. 151–167. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-1-151-167>.

Original article

Spatial integration of site development of Irkutsk historical centre

Roman A. Selivanov^{1✉}, Andrey G. Bolshakov²

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

Abstract. The aim was to investigate the integrity of the urban fabric of Irkutsk historical centre regarding interaction between urban morphotypes and their functional use in conjunction with orientation around the city. The study considered theoretical background to the analysis of integration of the historic city development, including the local approaches to working with places of interest. Two fundamentally different approaches were identified. The first approach addresses the issues of organizing the spatial structure and generating the geometry. The second approach examines the socio-functional issues of the environment, its cognitive psychological aspects. Local approaches to working with places of interest focus on dividing the city into environment protection zones and subzones, each of which corresponds to its own type of reconstruction, regeneration and transformation. Here, the conventional approaches to city protection zoning and zone regulation are supplemented by a new approach to the topological regulation of site development. The evolution stages in the development of the place of interest in the centre of Irkutsk were revealed. The research involved a chronological analysis of publications of Irkutsk authors on the development of “place” as a historical area of the city, starting from the

period of its initial development (the second half of the 17th century) to the beginning of the 21st century. The content of the stages is a new feature in the context of site development. The research revealed evolution of site development of Irkutsk from the middle of the 17th century to the 2000s, as well as approaches to arranging the territories adjacent to buildings among themselves.

Keyword: morphotype, spatial structure, fragmentation of urban fabric, urban planning conflict

For citation: Selivanov R.A., Bolshakov A.G. Spatial integration of site development of Irkutsk historical centre. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2023;13(1):151-167. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-1-151-167>.

ВВЕДЕНИЕ

Вопрос развития исторических кварталов Иркутска был и остается актуальным. Исторический центр имеет узнаваемый, самобытный характер, высокую планировочную и художественную ценность. Однако основная часть того, что имеет ценность, была построена в XVIII–XIX вв.

Проблема несогласованности новых строений Иркутска с историческим контекстом застройки кварталов заключается в нарушении целостности городской ткани в результате дезорганизации ориентационной системы городской застройки. Объективные противоречия несогласованности новых строений г. Иркутска с историческим контекстом застройки кварталов обусловлены несоответствиями городских морфотипов застройки их функциональному использованию, в совокупности с дезориентирующей (путаной) координацией пешеходного движения внутри кварталов. Особенно ярко эти противоречия проявляются на границах морфотипов с разными пространственно-функциональными свойствами. Места перехода из одного морфотипа в другой (соседний) внутри кварталов способны провоцировать противоречия в функционировании города. В связи с этим проблема целостного архитектурного образа предстает как проблема пространственной ориентации городской подвижности. Фрагментация городской ткани, обусловленная несоответствиями городских морфотипов функциональной логике и проблемам ориентации перемещений по кварталу и между ними, в отечественном и зарубежном опыте в полной мере не исследованы. В данной работе традиционные подходы к охранному зонированию города и регламентации зон дополняются новым подходом по топологическому регулированию застройки. В качестве первоэлемента анализа и преобразований городской ткани в исследовании используется понятие «модель базового локуса» (градостроительного фрагмента), который обладает совокупностью свойств структурной

связанности + пространственной организации + функционального использования в определенном «месте». Понятие «базовый локус» выступает в качестве инструмента, позволяющего провести анализ динамики изменений мест и их шаблонов перемещения в исторических кварталах г. Иркутска. Методология топологического подхода к анализу к территории города и городской застройки раскрыта в [1].

МЕТОДЫ

Разработанная методика градостроительного анализа и преобразований позволяет эффективно, с высокой степенью достоверности выявлять участки с избыточной фрагментацией городской среды, обеспечивая возможность регулировать уровень интеграции между локусами.

Первый метод. Ключевой процедурой исследования является введение первоэлемента – базового локуса с дальнейшей формализацией ткани.

Результат формализации территории кварталов до локусов делает однозначно зримым разделение ткани на паттерны с выраженным структурно-пространственно-функциональным содержанием (рис. 1).

Картограмма пространственно-функциональных диссонансов соседства первичных локусов (рис. 2) высвечивает весь диапазон конфликтных участков городской ткани сразу. Этот результат дает возможность выстраивать комплексные стратегии развития городских кварталов, корректируя существующую фрагментацию и избегая появления новых диссонансов в ткани.

Второй метод. При отделении части от целого становится возможным анализировать свойства частей-локусов в отдельности и характер взаимодействия между ними (соседства локусов, наличие конфликтов на стыках локусов). Наличие конфликта между морфотипом и функцией выявляется посредством сопоставления их шаблонов перемещения и структуры связей в виде графоаналитических моделей.

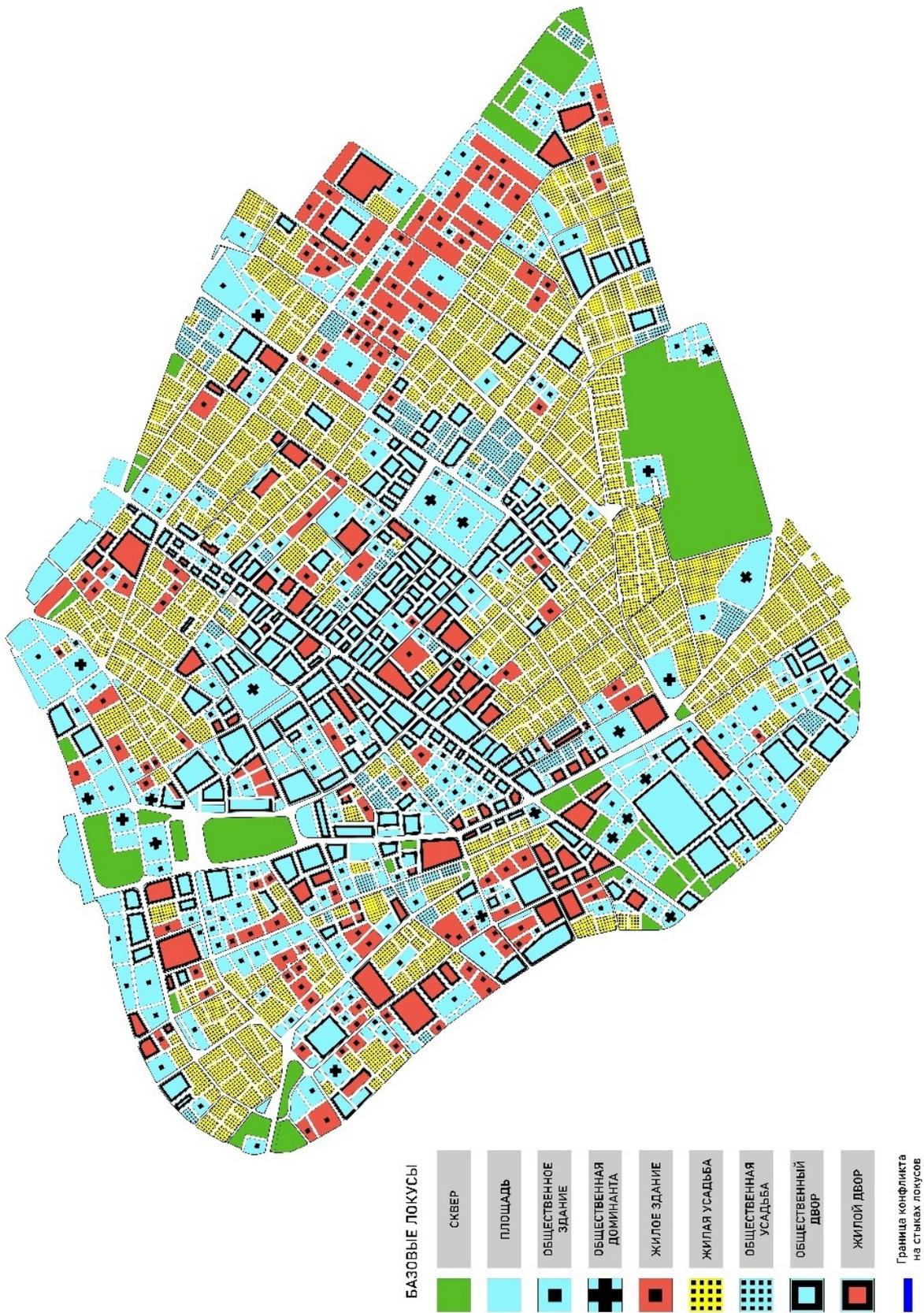


Рис. 1. Картограмма соседств базовых локусов в кварталах центра г. Иркутска на основе Проекта зон охраны 2008 г.
Fig. 1. Cartogram of the neighborhoods of the base locus in the quarters of the center of Irkutsk based on the Project of protection zones 2008



Рис. 2. Картограмма диссонансов соседства базовых локусов в кварталах центра г. Иркутска, 2008 г.
Fig. 2. Cartogram of dissonances of neighborhoods of base locus in quarters of the center of Irkutsk, 2008

В том случае если морфотип и функция имеют диаметрально противоположные шаблоны перемещения (движение, многолюдность и покой, малолюдность), между ними возникает конфликт. Достоверность данных при выявлении конфликта между морфотипом и функцией подтверждается дважды возникшим однозначно схожим результатом. В первом случае сопоставляются шаблоны перемещения, во втором графоаналитические модели.

Оценка наличия конфликтов соседств локусов в кварталах проводится с помощью матрицы прогнозирования пространственно-функциональных диссонансов между девятью базовыми локусами исторических кварталов г. Иркутска (разработанной в рамках авторской методики).

Матрица отображает 36 возможных со-

седств базовых локусов, среди которых 10 являются конфликтными (рис. 3). Интенсивность конфликтов соседств локусов определяется по формуле, разработанной в рамках данного исследования.

Третий метод заключается в корректировке границ локусов с установлением контроля доступа в локус либо в обеспечении связей соседства и свободного доступа в структуру локуса в зависимости от социальной ценности публичности либо конфиденциальности назначения локуса. Согласно разработанной в рамках исследования матрице типов границ (рис. 4) на стыках базовых локусов формируются пространственные границы: замкнутая (барьер); открытая (шов); комбинированная (буферное пространство, фильтр, шлюз), обеспечивающие бесконфликтность соседств между первичными локусами.

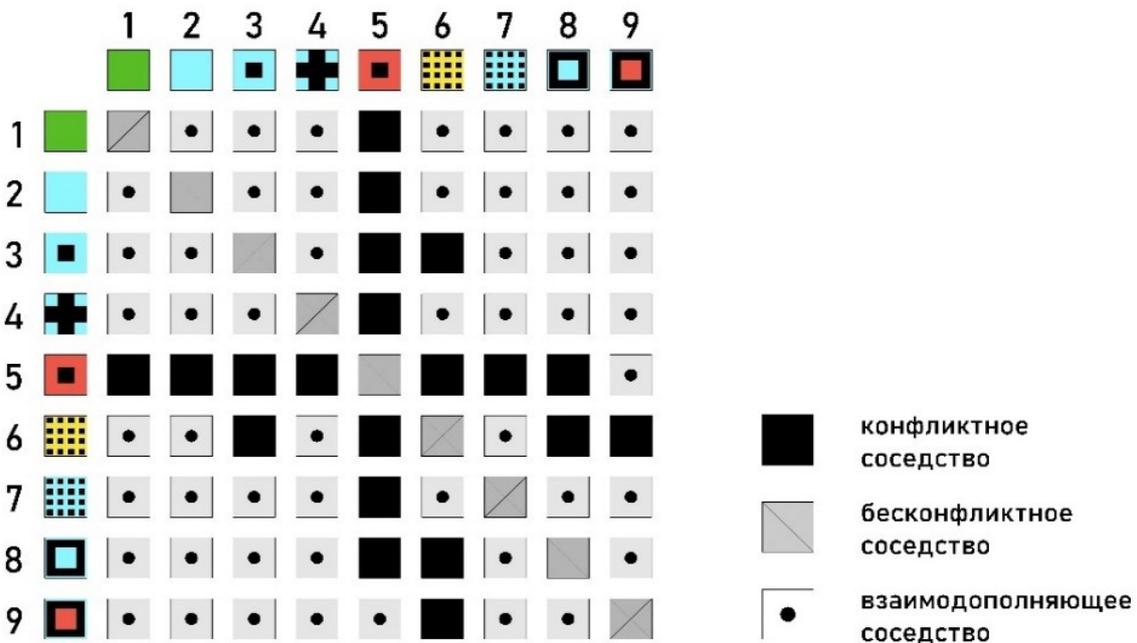


Рис. 3. Матрица совместимости базовых локусов
Fig. 3. Matrix of compatibility of basic locus

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Разработаны модели девяти базовых объемно-пространственных локусов (существующих фрагментов ткани) исторического центра г. Иркутска и определена их взаимосвязь с моделью «достопримечательного места».

Объектом исследования выступает ткань разновременной застройки исторических кварталов г. Иркутска.

Предметом - условия для интеграции и причины фрагментации городской ткани. Так или иначе городская ткань состоит из градо-

строительных фрагментов, взаимодействующих друг с другом. Для понимания целого необходимо разобратся из каких частей оно состоит и как эти части взаимодействуют. В обобщенном виде практически любой рассматриваемый объект, будь то город, квартал или его фрагмент, может быть представлен как совокупность взаимосвязанных частей¹.

В научных работах М.В. Шубенкова и А.В. Крашенинникова архитектурное пространство характеризуется термином «место».

¹Шубенков М. В. Структура архитектурного пространства: автореф. дис. ... д-ра архитектуры. М., 2006.

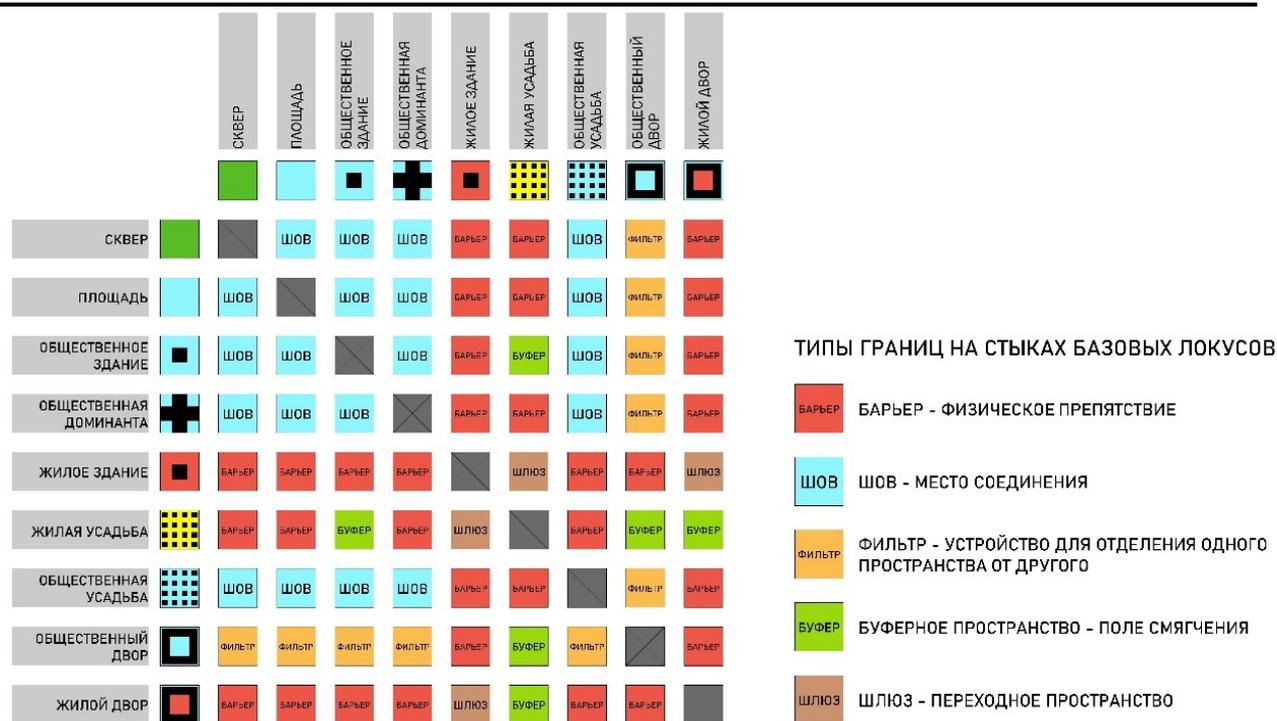


Рис.4. Матрица типов границ на стыках базовых локусов
Fig. 4. Matrix of boundary types at the junctions of basic locus

Городское пространство трактуется или как «место», геометрически спланированное, имеющее в основе своей композиционные закономерности, или сложившееся стихийно в процессе жизнедеятельности. Для М.В. Шубенкова «место» выступает «в качестве выделенной пустоты, вместилища, оболочки обитания», используемого как вместилище деятельности, позволяющее человеку осознать «части пространства в составе целого и ориентироваться в такого рода дискретном окружении»¹. Пространственное обособление «места» А.В. Крашенинников² [2] определяет «в качестве одной из предпосылок положительных межличностных отношений горожан». «Место» определено как «пространство, имеющее ядро, периферию и границы». Пространственными границами служат планировочные факторы, затрудняющие пешеходное передвижение и визуальный контакт (стены, экраны, ограждения и т. п.). Принципиальным для «места» является наличие у него входа. «Место» трактуется А.В. Крашенинниковым как участок территории с определенными видами деятельности (социально-пространственный комплекс), и классифицировано как «мезопространство», имеющее размеры от 20 до 120 м (пешеходная пло-

щадь, двор жилого дома и т. п.)² [2].

В данном исследовании понятие «место» берется за основу и рассматривается в трех масштабах:

1. Центральная часть г. Иркутска как «историческое место».

2. Квартал – «место», состоящее из фрагментов с выраженными структурными, пространственными и функциональными свойствами.

3. «Место» как модель фрагмента квартала, у которого есть структурные, пространственные и функциональные свойства (локус). Структурные (топология), пространственные (геометрическая форма) и функциональные свойства городской ткани, как условия интеграции застройки, составляют предмет исследования. Выявленные положения далее позволят определить закономерности и тенденции интеграции ткани городской застройки центра города.

На первом этапе были выявлены периоды эволюции застройки «достопримечательного места» центра г. Иркутска. На основе периодизации иркутских авторов по развитию исторической части города со времени первоначального освоения территории (вторая половина XVII в.) до начала XXI в. было выявлено

²Крашенинников А.В. Жилые кварталы: учеб. пособие / под общ. ред. Н.Н. Миловидова, Б.Я. Орловского, А.Н. Белкина. М.: Высш. шк., 1988. 87 с.

пять характерных этапов развития:

1 этап (вторая половина XVII – первая треть XVIII вв.). Первоначальный период освоения территории; формирование нерегулярной усадебной застройки вокруг острога и первого историко-градостроительного района.

2 этап (первая треть – конец XVIII в.). Переходный период от свободной, нерегулярной застройки кварталов города к упорядоченной; возникновение второго историко-градостроительного района; развитие усадебной застройки и формирование общественных доминант – вертикали церквей на фоне низкой деревянной застройки.

3 и 4 этапы (вторая половина XVIII – конец XIX вв.). Становление и развитие публичного статуса центральных улиц; активное использование образцовых проектов, замена деревянных церквей на каменные; возникновение третьего и четвертого историко-градостроительных районов.

5 этап (весь XX в.). Включение в историческую ткань типовых блок-секций средней этажности, а позднее – точечной многоэтажной застройки по индивидуальным проектам. Выявленная периодизация послужила основой для определения причин фрагментации городской ткани.

На втором этапе был рассмотрен квартал как «место», состоящее из фрагментов с выраженными структурными, пространственными и функциональными свойствами. Была проведена работа по выявлению характерных для исторических кварталов г. Иркутска морфотипов пространственной структуры кварталов. Анализировалась застройка, сложившаяся в границах исторического места согласно ПЗО от 12.09.2008 № 254-па³.

За основу было взято четыре базовых морфотипа, встречающихся в большинстве исторических кварталов. Первый из этих морфотипов – открытая пространственная ячейка без застройки. Как правило, это сквер, площадь (общественное пространство). Второй базовый морфотип – открытая пространственная ячейка с застройкой.

Данный морфотип характеризует отдельно стоящее здание с незастроенным пространством вокруг него. Третий базовый морфотип – усадебная застройка, которую предлагается классифицировать как ячейку с пористой структурой. Массо-пустотные отношения

усадыбы представляют собой пространственную структуру, в которой количество массы и пустоты примерно одинаково [9]. Четвертый базовый морфотип – закрытая пространственная ячейка. Застройка по периметру окружает пространственную ячейку – двор.

Далее базовые морфотипы пространственной структуры были идентифицированы в нескольких исторических кварталах г. Иркутска.

Результаты анализа показали, что в чистом виде базовый морфотип «открытая ячейка без застройки» выявлен в первом квартале, базовый морфотип «открытая ячейка с застройкой» выявлен в трех кварталах, базовый морфотип «пористая структура»⁴ выявлен в 14-ти кварталах, базовый морфотип «закрытая ячейка» выявлен в 7-ми кварталах. Остальные кварталы можно характеризовать как сложносоставные компиляции из базовых морфотипов.

Выявлено и классифицировано четырнадцать типов кварталов с различной комбинацией базовых морфотипов (рис. 5).

На третьем этапе «место» исследовано как модель фрагмента квартала, у которого есть структурные, пространственные и функциональные свойства. Была установлена связь между пространственной организацией (морфотипом) и функциональным использованием территории.

Процесс жизнедеятельности человека в городской среде задаёт архитектурному пространству его функциональную программу [6], спланированную или стихийно возникшую. Процесс жизнедеятельности в городских кварталах характеризуется разнообразными перемещениями и определен как совокупность шаблонов перемещения⁵.

На основе диаграммы средового поведения А.В. Крашенинникова [4], образованной двумя осями – «людность» и «подвижность» –, в исторических кварталах г. Иркутска выявлено два первичных (ключевых), принципиально отличных шаблона перемещения:

- 1) движение, многолюдность
- 2) покой, малолюдность.

Шаблон перемещения «движение, многолюдность» характерен для перемещения большого количества людей – открытый доступ для всех желающих, преодолевающих значительные дистанции.

³Проект охранных зон, зон регулирования застройки, хозяйственной деятельности и охраняемого природного ландшафта Иркутска // Гарант [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/21610450/> (24.10.22).

⁴Крашенинников И.А. Характеристики пористости городской ткани и пороги интенсификации использования территории: дис. ... канд. архитектуры. М., 2019. 150 с.

⁵Лапшина Е.Г. Архитектурное пространство как динамическая система. дис. ... д-ра архитектуры. НН., 2016.



Рис. 5. Классификация морфотипов пространственной структуры кварталов
 Fig. 5. Classification of morphotypes of the spatial structure of quarters

Статус публичного пространства (улицы) – его двигательная активность тем выше, чем больше планировочных элементов оно собой связывает. Магистралы, являясь планировочным каркасом, обеспечивают самую высокую двигательную активность. Пересечение магистралей или улиц с высокой двигательной активностью, способствует размещению публичного пространства накопителя – площади.

Есть два типа мест в городе с принципиально разными свойствами перемещения:

1. Жилой двор с шаблоном перемещения «покой, малолюдность».

2. Площадь как общегородская, так и перед общественным зданием, с шаблоном перемещения – «движение, многолюдность».

Соседства этих мест и, соответственно, связи между ними могут быть либо сбалансированными, либо конфликтными, в зависимости от формулы контроля доступа мест и формы границы между ними. Соседство мест рассматривается в работе как связи. Соответственно, они также могут быть благополучными или конфликтными.

Под связанностью локусов понимается структура объектов, определенные формы соединения и взаиморасположения элементов, являющиеся составными частями пространственной структуры городской ткани. Морфотип пространственной структуры может быть не связан с его функциональной программой. Объективным критерием в этом вопросе выступает деятельность человека в исследуемом пространстве. Как для морфотипа, так и для функции, характерна та или иная двигательная активность.

Функция – это использование фрагмента городского пространства по определенному назначению; вид деятельности, осуществляемой в определенной последовательности. Шаблон перемещения – это схема перемещения людей в определенном месте городского пространства + интенсивность этого движения. Шаблон перемещения связан со структурой пространства, его топологией [5]. По фактической ситуации возможно определить шаблон перемещения, характерный для исследуемого пространственного морфотипа. Для каждой городской функции также существует своя логика шаблона перемещения как типологическая основа функции. Поэтому можно предъявить типологически обоснованный шаблон перемещения, характерный для каждого данного вида функционального использования (в исторических кварталах г. Иркутска). Результатом сравнения фактического и логического (правильного) шаблонов

перемещения на местах становится выявление степени соответствия указанных шаблонов.

Отсюда следует вывод: соответствие пространственной структуры места его функциональному использованию определяется посредством выявления совместимости или несовместимости шаблонов перемещения морфотипу и функции места. Критерием соответствия пространственной структуры места его функциональному использованию является совпадение шаблона перемещения морфотипа с шаблоном перемещения функции. Далее для анализа ткани городской застройки необходимо введение понятия «первоэлемент модели».

В качестве исходной исследуемой пространственной единицы М.В. Шубенковым¹ было введено понятие «локум», олицетворяющее дискретные пространственные единицы, из которых формируется пространственная целостность.

Локумы – исходные единицы, образующие структурное единство пространственной архитектурной системы. Структурное единство пространственной системы в исследовании М.В. Шубенкова обусловлено тремя положениями: «элементность», «связанность», «целостность» [5]. Размер «локума» у М.В. Шубенкова сопоставим с комнатой. М.Е. Монастырская [7, 8] использует термин «пространственный локус» применительно к исторически сложившемуся градостроительному фрагменту г. Санкт-Петербурга с высокой степенью центральности – «слобода Семенцы» –, состоящему примерно из 30-ти кварталов.

В монографии «Когнитивная урбанистика: архетипы и прототипы городской среды» [2] понятие «локус» А.В. Крашенинниковым трактуется как «анклав» (прототип крепости, городища) – место событий с ограниченным доступом. Примерами анклавов в городе он называет кварталы с периметральной застройкой, скверы, детские сады, школы [2].

В качестве первоэлемента (инструмента) выявления объективных причин фрагментации городской ткани в диссертационном исследовании введено понятие «модель базового локуса» (рис. 6), которая обладает совокупностью свойств структурной связанности + пространственной организации + функционального использования в определенном «месте». За локус принят градостроительный фрагмент: здание или группа зданий с примыкающей к ним и функционально обусловленной территорией (пустотой), расположенных в квартале.

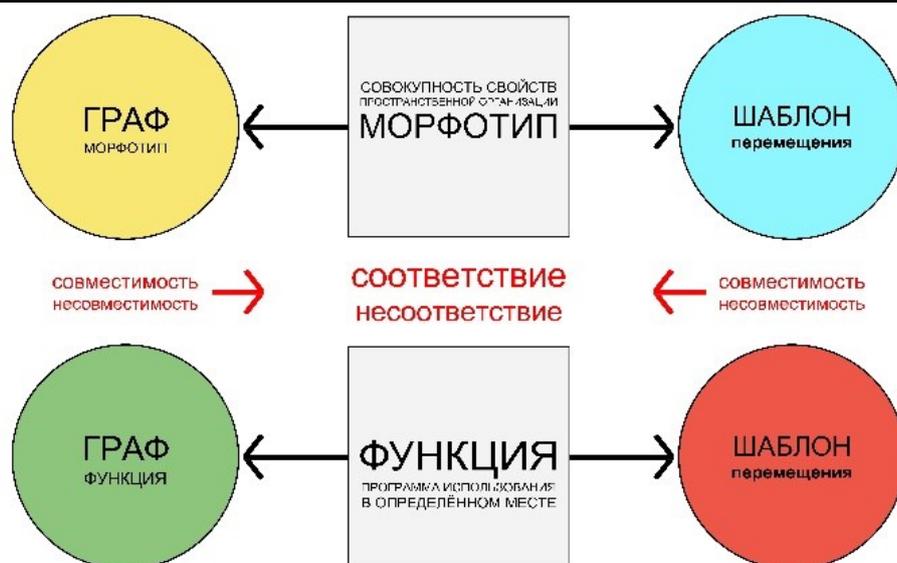


Рис. 6. Модель базового застроечного локуса
Fig. 6. Model of the basic development locus

Выявлено два морфотипа без строений: сквер, площадь и три принципиально отличных по организации пространственной структуры базовых морфотипа со строением: малоэтажный усадебный дом с прилегающей к нему территорией, многоэтажное строение с внешне прилегающей к нему территорией и двор как группа домов с внутренне прилегающей к ним территорией. Как было сказано ранее, жизнедеятельность в городских кварталах характеризуется разнообразными перемещениями и определена как шаблон перемещения. В исторических кварталах Иркутска выявлено два базовых полярных шаблона перемещения:

- 1) движение, многолюдность;
- 2) покой, малолюдность.

Им соответствуют два типа городских «мест»:

1. Жилой двор с шаблоном перемещения «покой, малолюдность».

2. Площадь (или улица), как общегородская, так и перед общественным зданием, с шаблоном перемещения «движение, многолюдность». По факту на местности определены шаблоны перемещения, характерные для морфотипов. Для функции (из двух выявленных), шаблон перемещения определяется типологически и зависит от назначения объекта.

В итоге базовый локус состоит из одного пространственного морфотипа (усадебный дом, многоэтажное строение или двор) с характерным ему шаблоном перемещения (движение, многолюдность или покой, малолюд-

ность) и одной типологически выявленной функцией с характерным для нее шаблоном перемещения (движение, многолюдность или покой, малолюдность).

Выявлено и классифицировано девять базовых застроечных локусов (структурных единиц), из которых, в различных сочетаниях состоят все кварталы центральной части г. Иркутска: сквер, площадь, общественное здание, общественная доминанта, жилое здание, жилая усадьба, общественная усадьба, общественный двор, жилой двор (рис. 7). Из них шесть локусов с общественной функцией и три с жилой. Первоэлемент выступает в качестве инструмента, позволяющего провести анализ динамики изменений «мест» и их внутренних шаблонов перемещения в исторических кварталах г. Иркутска. Раскрыты содержание и структура градостроительных фрагментов. Между морфотипом и функцией выявлена совокупность устойчивых связей – структура которая формализуется в виде графа (рис. 7). Базовые локусы в зависимости от типологии могут иметь различные размеры и конфигурацию своих границ¹. Структура базового локуса представляет собой структуру циркуляции (топологию связей), т.е. схему перемещений внутри локуса, обусловленную свойством связанности пространства. Связать пространственную конфигурацию локуса с его структурой предлагается, опираясь на научные методы И. Фридмана [9], в которых он формулирует правила построения графов и теорию пространственного синтаксиса Б. Хиллера [5].

МОРФОТИП	ШАБЛОН	НАИМЕНОВАНИЕ ЛОКУСА	МОРФОТИП + ФУНКЦИЯ	ГРАФ	ГРАФ
МОРФОТИП ШАБЛОН ПОВДВИЖНОСТИ ФУНКЦИЯ ШАБЛОН ПОВДВИЖНОСТИ		СКВЕР	Морфотип + Функция БАЛАНС		
МОРФОТИП ШАБЛОН ПОВДВИЖНОСТИ ФУНКЦИЯ ШАБЛОН ПОВДВИЖНОСТИ		ПЛОЩАДЬ	Морфотип + Функция БАЛАНС		
МОРФОТИП ШАБЛОН ПОВДВИЖНОСТИ ФУНКЦИЯ ШАБЛОН ПОВДВИЖНОСТИ		ОБЩЕСТВЕННОЕ ЗДАНИЕ	Морфотип + Функция БАЛАНС		
МОРФОТИП ШАБЛОН ПОВДВИЖНОСТИ ФУНКЦИЯ ШАБЛОН ПОВДВИЖНОСТИ		ОБЩЕСТВЕННАЯ ДОМИНАНТА	Морфотип + Функция БАЛАНС		
МОРФОТИП ШАБЛОН ПОВДВИЖНОСТИ ФУНКЦИЯ ШАБЛОН ПОВДВИЖНОСТИ		ЖИЛОЕ ЗДАНИЕ	Морфотип + Функция КОНФЛИКТ		
МОРФОТИП ШАБЛОН ПОВДВИЖНОСТИ ФУНКЦИЯ ШАБЛОН ПОВДВИЖНОСТИ		ЖИЛАЯ УСАДЬБА	Морфотип + Функция БАЛАНС		
МОРФОТИП ШАБЛОН ПОВДВИЖНОСТИ ФУНКЦИЯ ШАБЛОН ПОВДВИЖНОСТИ		ОБЩЕСТВЕННАЯ УСАДЬБА	Морфотип + Функция ДИССОНАНС		
МОРФОТИП ШАБЛОН ПОВДВИЖНОСТИ ФУНКЦИЯ ШАБЛОН ПОВДВИЖНОСТИ		ОБЩЕСТВЕННЫЙ ДВОР	Морфотип + Функция ДИССОНАНС		
МОРФОТИП ШАБЛОН ПОВДВИЖНОСТИ ФУНКЦИЯ ШАБЛОН ПОВДВИЖНОСТИ		ЖИЛОЙ ДВОР	Морфотип + Функция БАЛАНС		

Рис. 7. Девять выявленных существующих базовых застройочных локусов
Fig. 7. Nine identified existing basic development locus

Идея метода Б. Хиллера заключается в разделении на фрагменты сложносоставных пространств и в отображении сети векторов перемещения пешеходов и транспорта в виде графов, описывающих интеграцию этих пространств. По мнению Германа Вейля, «разбиение на нечто дискретное и нечто непрерывное» является «основной проблемой во всей морфологии ...» [5]. По М. Шубенкову, структурный метод предполагает предельную степень формализации объекта исследования [5]. Поэтому каждый из базовых локусов – до определенной степени целостная, дискретная за счет выделенности посредством непрерывности набора свойств из внешнего окружения пространственно-функциональная структура. Свойство целостности необходимо для описания выделенности архитектурных объектов из внешнего окружения, их относительной самодостаточности и самостоятельности пространственного функционирования¹. По М. Шубенкову, за основу структурного метода взято выявление структуры как совокупности стабильных отношений. Описанные И. Фридман и М. Шубенковым правила в полном объеме раскрывают принципы, позволяющие формализовать пространственную структуру локуса, а также соседств локусов. Составление схемы заключается в нанесении на чертеж точек и линий, упорядоченных так, что каждая точка или группа точек связаны со всеми другими точками (плоские графы, связи и маркировочные знаки). Все точки снабжены маркировочными знаками, причем имеется по меньшей мере два типа этих знаков [9].

Согласно основным процедурам структурного метода¹:

1) было выделено первичное множество объектов, в которых предполагается наличие структуры – выявлены базовые локусы;

2) локусы разделены на элементарные части, в которых характерные повторяющиеся отношения связывают пары выявленных элементов – морфотип локуса + функция локуса;

3) выявлены отношения между частями, и построены абстрактные структуры путем формально-логического моделирования с выведением из структуры всех теоретически возможных следствий с их последующей проверкой на практике – структура базовых локусов; структура отношений соседств базовых локусов.

Согласно правилам, каждый из девяти базовых локусов был формализован в виде графов (рис. 7), дано описание его связей и того, как связаны его пространственные и структурные свойства. Определена структур-

ная связанность морфотипа и правильная структурная связанность, характерная для функции.

Выявлено и классифицировано девять базовых застроечных локусов (структурных единиц), из которых в различных сочетаниях состоят все кварталы центральной части г. Иркутска: сквер, площадь, общественное здание, общественная доминанта, жилое здание, жилая усадьба, общественная усадьба, общественный двор, двор жилого дома (рис. 7).

Первоэлемент выступает в качестве инструмента, позволяющего провести анализ динамики изменений «мест» и их внутренних шаблонов перемещения в исторических кварталах г. Иркутска. Раскрыты содержание и структура градостроительных фрагментов (см. рис. 1).

Выявлены закономерности размещения локусов в структуре модели «достопримечательного места» – «Исторический центр г. Иркутска»:

1) по типологическому составу – в охранных зонах (ОЗ) и ЗСР выявлено преобладание локусов «жилая усадьба» и локусов «общественный двор». В ЗЧР выявлено преобладание локусов «жилая усадьба» и локусов «общественное здание»;

2) по степени упорядоченности – наиболее упорядоченное размещение локусов выявлено в охранный зоне объекта культурного наследия ОЗ; наименее упорядоченное мозаичное размещение локусов выявлено в зонах частичного регулирования застройки; в зонах строгого регулирования застройки выявлено размещение локусов в виде упорядоченных однородных анклавов и разобщенных фрагментов;

3) по количеству типов локусов в границах зоны – в зоне ОЗ превалирует типологическая однородность заполнения режимной территории базовыми локусами; в зонах ЗСР характерны как типологическая однородность заполнения охранный зоны в квартале 1–2 локусами, так и соседство 3–4 типов базовых локусов в границах охранный зоны квартала; в зонах ЗЧР выявлен сложносоставной характер соседств локусов;

4) по отношениям соседств локусов – в зонах ОЗ и ЗСР выявлены локальные конфликты соседств локусов. В зонах ЗЧР выявлен наиболее конфликтный характер соседств локусов.

Наиболее упорядоченный, типологически однородный и наименее конфликтный характер размещения локусов выявлен в зоне с са-

мым строгим регулированием – ОЗ. Прямо противоположная закономерность в зонах частичного регулирования – ЗЧР.

На основе анализа градоформирующих конфликтных ситуаций соседств базовых локусов выявлены принципы интеграции застройки.

Проведенный анализ взаимодействия соседств локусов позволил определить причины дезинтегрированности градостроительной ткани кварталов центра г. Иркутска:

1. Выявлен спектр конфликтных градостроительных ситуаций в соседстве первичных локусов. Согласно выявленному спектру 60% конфликтов приходится на соседства шести локусов с общественными функциями и локусом «жилое здание», 20% конфликтов приходится на соседства локусов с общественными функциями и локусом «жилая усадьба», 20% конфликтов приходится на соседства локусов с жилой функцией и локусом «жилая усадьба» (см. рис. 5).

2. Анализ спектра существовавших и существующих конфликтов в соседствах базовых локусов показал, что в с XVIII – до первой трети XX вв., конфликтных соседств базовых локусов в исторических кварталах г. Иркутска не выявлено. Конфликты соседств локусов начали появляться со второй половины XX до первой четверти XXI вв. (рис. 6). Выявлен весь спектр из 10-ти типов конфликтных соседств локусов в 107-ми кварталах.

3. За пространственную границу как место стыка соседств базовых застроечных локусов принято множество точек, прилегающих одновременно минимум к двум пространствам⁶ [10].

– охарактеризовано текущее состояние границ между застроечными локусами в кварталах. Выявлено 107 случаев отсутствия границ приватного пространства локусов жилое здание и жилая усадьба.

– выявлена структура ключевых элементов приватной жилой среды⁷ [11].

– выявлены допустимые параметры границ приватного пространства.

4. В формализованной до картограммы ткани достопримечательного места центральной части г. Иркутска выявлено 28 неконфликтных соседств локусов (см. рис. 3). Участки достопримечательного места, на которых планируется новое строительство, предлагается развивать, исключая конфликтные соседства локусов. Разработана методика развития достопримечательного места посредством размещения буферных локусов на стыках

конфликтных соседств. Учитывается местоположение участка относительно историко-культурного каркаса и баланс между социальными ценностями и морфотипами застройки [3].

Выявлено 25 комбинаций, повышающих пространственно-функциональную интеграцию на стыках рассмотренных конфликтных соседств. Достоверность данных по устранению конфликтов соседств локусов с помощью буферных локусов подтверждается возникшим дважды однозначно схожим результатом. В первом случае сопоставлены шаблоны перемещения, во втором – графоаналитические модели.

Анализ конфликтных градостроительных ситуаций показал, что в результате продолжительного случайного процесса по причине конфликтных структурных связей между шестью локусами с общественными функциями и тремя локусами с жилыми функциями возникли пространственно-функциональные нарушения городской ткани. Необходимо выстраивать корректные структурные связи между общественными и жилыми локусами (см. рис. 2 и 3). Выявлены принципы регулирования, способствующие повышению интеграции исторической ткани г. Иркутска:

– принцип происхождения конфигурации границ исторических районов и кварталов г. Иркутска в форме упорядочения случайного процесса развития территории.

– принцип формирования морфотипа квартала как «зернистой» структуры локусов с выявлением и разрешением противоречий соседств;

– принцип артикуляции границ локусов с установлением контроля доступа в локус, либо обеспечение связей соседств и свободного доступа в структуру локуса, в зависимости от социальной ценности публичности либо конфиденциальности назначения локуса.

На основе выявленных принципов регулирования застройки сформулированы закономерности интеграции, тенденции и рекомендации, способствующие повышению интеграции ткани городской застройки центра г. Иркутска. Закономерности представляют собой выявленные правила построения застройки в кварталах г. Иркутска. В качестве закономерностей интеграции ткани городской застройки проявляются формы взаимодействия типов соседств как основы интеграционных процессов:

1. Исторически сложившиеся границы «достопримечательного места» центра г. Иркутска,

⁶Явейн О.И. Проблема пространственных границ в архитектуре: автореф. дис. ... канд. архитектуры. М., 1982.

⁷Титов А.Л. Композиция внутреннего пространства: учеб. пособие. Екатеринбург: Архитектон, 2012. 81 с.

неразрывно связанные с его планировочной структурой этапами формирования историко-градостроительных районов.

Границы «достопримечательного места» центра г. Иркутска, с одной стороны, препятствуют сквозным планировочным связям разделяемых районов (ул. Большая между Палисадом и Солдатской слободой), а с другой стороны, способствуют сохранению плавного градиента свойств застройки по одну и по другую сторону улицы. Исключение составляет ул. Декабрьских событий, у которой четная и нечетная стороны в конце XX в. получили контрастные отношения в свойствах застройки. Посредством красных линий исторически ценной планировочной структуры четко очерченными границами периметров кварталов связываются в единое целое улицы и застройка. Строгий фронт улиц связывает в единое целое и упорядочивает, как правило, разнородную по плотности и структуре застройку кварталов.

2. Исторически сложившаяся (с конца XVIII в.) объемно-пространственная модель застройки исторического «места» с привязкой типологии застройки, включая ареалы исторической застройки (ОКН), содержит традиционные формы интеграции градостроительной ткани благодаря фактору иерархического подчинения фоновой застройки вертикалям доминант значимых строений, фактору подобия (в т.ч. действия «образцовых» проектов), а также нарастанию плотности, упорядоченности и этажности фронта застройки вдоль главных улиц.

3. Эволюционно сложившиеся закономерности интеграции первичных застроечных локусов, располагающихся в границах исторического центра Иркутска в совокупности свойств, представляют собой не что иное, как морфотипы кварталов.

Положительной особенностью выявленных морфотипов является разнообразие обнаруженных в них базовых локусов.

Отрицательной – фрагментация. Модели интеграции базовых локусов, располагающихся в границах исторического квартала, зависят от эффективности ориентационной координации, в частности от информационно-знаковой составляющей пространственной структуры локусов.

Границы формируют анклавности целостности во взаимодействии соседних локусов и координируют тем самым ориентированную подвижность людей в застройке, а при отсутствии выстроенных с необходимой степенью

транспарентности границ, разрушаются как локальные целостности (дворы, площади и др.), так и вся ткань застройки, состоящая из данных локусов.

К тенденциям формирования ткани городской застройки отнесена склонность тех или иных особенностей развиваться в определенном направлении, в том числе случайные процессы и особенности организации территории необходимо корректировать:

- несоответствия городских морфотипов функциональной логике;
- создающее диссонансы функциональное зонирование кварталов;
- компоновку морфотипов кварталов локусами (корректировка соседств локусов);
- структурную связь локусов в кварталах (корректировка границ между локусами);
- учитывая местоположение участка относительно историко-культурного каркаса и баланс между социальными ценностями и морфотипами застройки на основе разработанной матрицы совместимости морфотипов и картограммы пространственно-функциональных диссонансов. Становится возможным выстраивать комплексные стратегии развития городских кварталов, корректируя существующую фрагментацию, избегая появления новых конфликтов и тем самым повышая степень интегрированности городской ткани.

На основе выявленных закономерностей интеграции разработана методика анализа, определены приемы и алгоритм регулирования интеграции застройки. Методика, направленная на выявление причин фрагментации городской ткани, имеет следующую структуру и последовательность аналитических процедур:

1. Выявление базовых застроечных локусов в застройке кварталов (см. рис. 1 и 7).

2. Выявление наличия конфликта между морфотипом и функцией в структуре каждого выявленного локуса (см. рис. 6 и 7).

3. Оценка наличия конфликтов в соседствах локусов (методика выявления диссонансов между соседствами локусов) (см. рис. 2 и 3).

4. Определение причин конфликтов и оценка их интенсивности.

5. Картограмма пространственно-функциональных диссонансов соседств первичных локусов (см. рис. 2).

6. Карта конфликтного зонирования на стыках локусов.

Приемы интеграции градостроительной ткани застройки:

- прием интеграции застройки посред-

ством корректировки картограммы диссонансов на стыках застроечных локусов разработан для корректировки конфликтующих фрагментов ткани в заданных пределах на первом этапе регулирования;

– прием снижения конфликтов посредством регулирования степени структурной и пространственно-функциональной интегрированности внутри локусов и соседств локусов обеспечивает искомую интегрированность исторической ткани города на втором этапе регулирования.

Алгоритм регулирования интеграции застройки (способ реализации установок деятельности) включает три этапа:

1. Дается характеристика конфликту (по вышеописанной методике анализа).
2. Определяется объект корректировки:
 - корректировка локуса (структура, морфотип, функция);
 - корректировка соседств локусов.
3. Устройство пространственных границ. Сформирован алгоритм организации про-

странственных границ, обеспечивающих бесконфликтность соседств между первичными локусами:

– формирование границы: замкнутая (барьер); открытая (шов); комбинированная (буферное пространство, фильтр, шлюз) (см. рис. 4);

– определение траекторий перемещения внутри выявленного периметра и мест входов на территорию;

– выявление центрального ядра территории, ориентира и периферии²;

– функциональное зонирование территории;

– предметное наполнение территории;

Включение локусов-буферов на стыках конфликтных соседств локусов

Участки «достопримечательного места», на которых планируется новое строительство, предлагается развивать, исключая новые конфликтные соседства локусов посредством размещения буферных локусов на стыках конфликтных соседств (рис. 8).

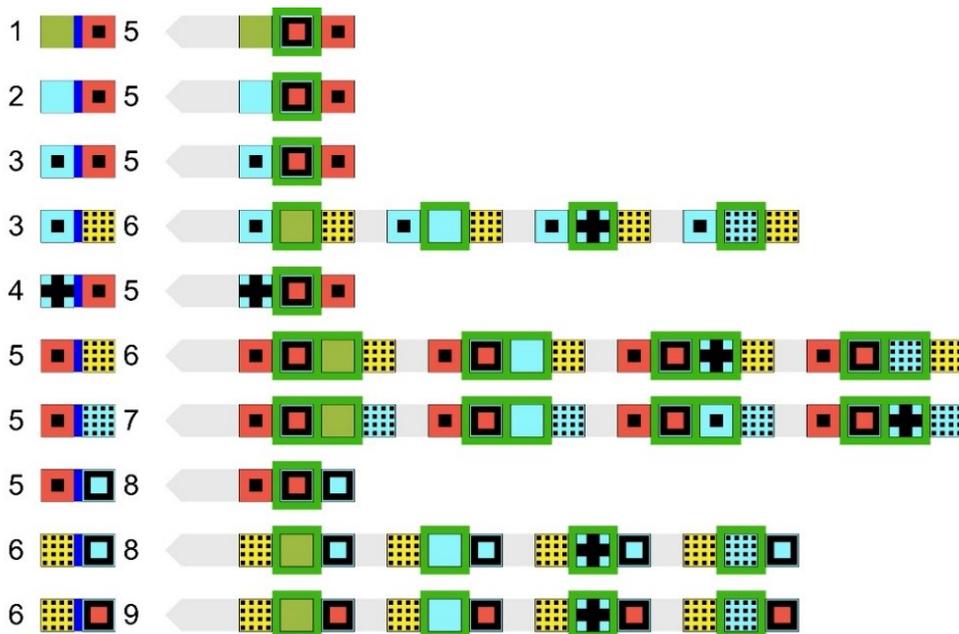


Рис. 8. Шаблоны морфотипов буферных локусов на стыках соседств конфликтных локусов
Fig. 8. Patterns of morphotypes of buffer loci at the junctions of neighborhoods of conflicting loci

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная методика градостроительного анализа и преобразований позволяет эффективно, с высокой степенью достоверности выявлять участки с избыточной фрагментацией городской среды, обеспечивая возможность регулировать уровень интеграции между локусами.

Ключевой процедурой исследования явля-

ется введение первоэлемента – базового локуса с дальнейшей формализацией ткани. Результат формализации территории кварталов до локусов делает однозначно зримым разделение ткани на паттерны с выраженным структурно-пространственно-функциональным содержанием. При отделении части от целого, становится возможным анализировать свойства частей (локусов) в отдельности и харак-

тер взаимодействия между ними (соседства локусов, наличие конфликтов на стыках локусов). Достоверность данных при выявлении конфликта между морфотипом и функцией подтверждается дважды возникшим однозначно схожим результатом. В первом случае сопоставляются шаблоны перемещения, характеризующие «людность» и «подвижность» во втором графоаналитические модели, характеризующие связанность.

Картограмма пространственно-функциональных диссонансов соседств первичных локусов высвечивает весь диапазон конфликтных участков городской ткани одновременно. Этот результат дает возможность выстраивать комплексные стратегии развития городских кварталов, корректируя существующую фрагментацию и избегая появления новых диссонансов в ткани.

Предлагаемые принципы и алгоритм регулирования оптимизируют процесс интеграции городской ткани, обеспечивая процессу корректировки фрагментации ткани транспарентность и ясность в процессе реализации на каждом этапе.

Для регулирования процессов включения новой застройки в историческую ткань города может быть доработан действующий юридический инструмент – Проект зон охраны 2008 г. с корректировками, исключающими регламентацию вырезанных из общей структурной и пространственно-функциональной канвы «достопримечательного места» фрагментов ткани.

Охранное зонирование города и его регламентацию необходимо дополнить способствующим интеграции топологическим регулированием застройки кварталов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Большаков А.Г. Культура пространственных решеток в архитектуре и градостроительстве: монография. Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2021. 260 с.
2. Крашенинников А.В. Когнитивная урбанистика: архетипы и прототипы городской среды: монография. М.: КУРС, 2020. 210 с.
3. Крашенинников А.В. Мезо-пространства городской среды // Архитектура и современные информационные технологии. 2015. № 4 (33). С. 4.
4. Крашенинников А.В. Аprobация диаграммы средового поведения // Наука, образование и экспериментальное проектирование: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (г. Москва, 8–12 апреля 2013 г.). М.: Московский архитектурный институт, 2013. С. 264–268.
5. Hiller B., Hanson J. The social logic of space. UCL: Cambridge University Press, 1984. 275 p.
6. Большаков А.Г. Оценка морфотипов застройки как отражения интересов и ценностей городского сообщества и их баланс как принцип градостроительной регенерации исторического центра // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2012. № 9 (68). С. 89–97.
7. Монастырская М.Е. «Реслободизация» городов – эффективный ответ на эпидемиологический вызов современности. Часть I. Общие положения, гипотеза исследования // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11. № 1. С. 110–117. <https://doi.org/10.17673/Vestnik.2021.01.15>.
8. Монастырская М.Е. «Реслободизация» городов – эффективный ответ на эпидемиологический вызов современности. Часть II. Предпосылки, алгоритмы, результаты // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11. № 2. С. 117–129. <https://doi.org/10.17673/Vestnik.2021.02.17>.
9. Фридман И. Научные методы в архитектуре / Пер. с англ. А.А. Воронова. М.: Стройиздат, 1983. 160 с. Перевод изд.: Fridman Y. Toward a Scientific Architecture. 1975.
10. Александров А.Д. Абстрактные пространства // Математика, ее содержание, методы и значение. Т. 3. Гл. ХУП. М.: Изд-во АН СССР, 1956. С. 158.
11. Большаков А.Г. Городские ландшафты исторического центра Иркутска: принципы реконструкции // Проект Байкал. 2009. № 20. С. 140–144.

REFERENCES

1. Bolshakov A.G. *The culture of spatial lattices in urban planning and architecture*. Irkutsk: Irkutsk national research technical university; 2021. 260 p. (In Russ.).
2. Krasheninnikov A.V. *Cognitive urbanism: archetypes and prototypes of the urban environment*. Moscow: KURS; 2020. 210 p. (In Russ.).
3. Krasheninnikov A.V. Meso-spaces of the urban environment. *Arkhitektura i sovremennye informatsionnye tekhnologii = Architecture and modern information technologies*. 2015;4:4. (In Russ.).
4. Krasheninnikov A.V. Approbation of environmental behavior diagram. *Nauka, obrazovanie i eksperimental'noe projektirovanie: materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Science, education and experimental design: Proceedings of Int. scientific-practical conferences*. 8–12 April 2013. Moscow: Moscow institute of architecture; 2013. p. 264-268. (In Russ.).
5. Hiller B., Hanson J. The social logic of space.

UCL: Cambridge University Press; 1984. 275 p.
6. Bolshakov A.G. Evaluation of building morphotypes as a reflection of the interests and values of the urban community and their balance as a principle of urban regeneration of the historical center. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2012;9:89-97. (In Russ.).
7. Monastyrskaya M.E. "Reslobalization" of cities as an effective response to the epidemiological challenge of the contemporary. Part I: general provisions, research hypothesis. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura = Urban construction and architecture*. 2021;11(1):110-117.
<https://doi.org/10.17673/Vestnik.2021.01.15>.
8. Monastyrskaya M.E. "Reslobodization" of cities as an effective response to the epidemiological chal-

lenge of the contemporary. Part II: preconditions, algorithms, results. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura = Urban construction and architecture*. 2021;11(2):117-129.
<https://doi.org/10.17673/Vestnik.2021.02.17>.
9. Fridman I. Scientific methods in architecture. Translated from English A.A. Voronova. Moscow: Stroizdat; 1983. 160 p. (In Russ.). Fridman Y. Toward a Scientific Architecture. 1975.
10. Aleksandrov A.D. Abstract spaces. *Matematika, ee soderzhanie, metody i znachenie = Mathematics, its content, methods and meaning*. 1956;(3):158. (In Russ.).
11. Bol'shakov A.G. Urban landscapes of the historical center of Irkutsk: principles of reconstruction. *Proekt Baikal = Project Baikal*. 2009:20;140-144. (In Russ.).

Информация об авторах

Селиванов Роман Александрович,
доцент кафедры архитектурного проектирования,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: romanseliva@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4247-8622>

Большаков Андрей Геннадьевич,
доктор архитектуры, профессор,
заведующий кафедрой архитектурного проектирования,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: andreybolsh@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0805-7207>

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 21.11.2022.
Одобрена после рецензирования 30.11.2022.
Принята к публикации 01.12.2022.

Information about the authors

Roman A. Selivanov,
Associate Professor of the Department of Architectural Design,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: romanseliva@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4247-8622>

Andrey G. Bolshakov,
Doctor of Architecture, Professor,
Head of the Department of Architectural Design,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: andreybolsh@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0805-7207>

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Conflict of interests

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

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

Information about the article

The article was submitted 21.11.2022.
Approved after reviewing 30.11.2022.
Accepted for publication 01.12.2022.



Анализ зарубежной практики архитектурно-экологического формирования современных университетских кампусов

А.В. Чистякова¹, С.Г. Шабиев² ✉

^{1,2}Южно-Уральский государственный университет
(Национальный исследовательский университет), г. Челябинск, Россия

Аннотация. Целью статьи является проведение комплексного исследования прогрессивного зарубежного опыта реализации современных университетских кампусов в аспекте их архитектурно-экологического формирования. В соответствии с поставленной целью используется системный подход к изучению информационных материалов, включая нормативную документацию. С. Г. Шабиевым проведено натурное обследование существующих кампусов университетов в Австралии, Канаде, Китае и других странах, а также сравнительный анализ эффективности реализованных архитектурно-экологических приемов. Проанализированы градостроительные условия территории, планировочные ограничения, климатические характеристики территории рассматриваемых кампусов. Также выявлены архитектурно-экологические особенности каждого исследуемого объекта, таких, как эксплуатируемая инверсионная кровля, низкоэмиссионное остекление фасадов, фотогальванические элементы, а также ландшафтная организация пространства, включающая вертикальные или внутренние сады, благоприятствующие микроклимату кампусов. Наиболее эффективные приемы архитектурно-экологического формирования университетских кампусов составлены в единую методологическую структуру, которая может быть использована при разработке концепций подобных объектов. Изучен современный зарубежный опыт проектирования и реализации университетских кампусов. Получена методологическая структура архитектурно-экологического формирования. Определена возможность использования результатов исследования в разработке проекта архитектурной концепции международного кампуса Южно-Уральского государственного университета в г. Челябинске.

Ключевые слова: архитектурно-экологическое проектирование, «зеленое» строительство, инновационное развитие, университетские кампусы, г. Челябинск

Для цитирования: Чистякова А.В., Шабиев С.Г. Анализ зарубежной практики архитектурно-экологического формирования современных университетских кампусов // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 1. С. 168–177. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-1-168-177>.

Original article

An analysis of foreign practice in the architectural and ecological formation of contemporary university campuses

Anna V. Chistiakova¹, Salavat G. Shabiev² ✉

^{1,2}South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia

Abstract. In this work, we investigate best foreign practices in establishing contemporary university campuses in terms of their architectural and environmental formation. For this purpose, we adopted a systematic approach to the study of information resources, including regulatory documentation. S.G. Shabiev conducted a field survey of existing university campuses in Australia, Canada, China and other countries, as well as a comparative analysis of the effectiveness of the implemented architectural and environmental techniques. The study analyzed the campuses in terms of planning restrictions, urban planning conditions and climatic characteristics. In addition, the architectural and environmental features of each site under study were identified: inverted roofs in operation, low emissivity facade glaz-

ing, photocells, as well as landscape systems with microclimate-friendly vertical or inner gardens. The most effective techniques for architectural and ecological formation of university campuses were compiled into a coherent methodological framework that can be used when developing concepts for such facilities. Best foreign practices in the design and implementation of contemporary university campuses were studied. The methodological framework for architectural and environmental formation was obtained. We also explored the potential for using the obtained results in developing an architectural concept design for the international campus of South Ural State University, Chelyabinsk, Russia.

Keywords: architectural and ecological design, "green" building, innovative development, university campuses, Chelyabinsk

For citation: Chistiakova A.V., Shabiev S.G. An analysis of foreign practice in the architectural and ecological formation of contemporary university campuses. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'* = *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2023;13(1):168-177. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-1-168-177>.

ВВЕДЕНИЕ

В Южно-Уральской школе архитектуры, созданной на базе кафедры архитектуры Южно-Уральского государственного университета (ЮУрГУ) продолжают научные исследования по проблемам экологической архитектуры, публикуются монографии, защищаются диссертации, результаты которых издаются в высокоиндексируемых журналах. В 2022 г. под руководством С.Г. Шабиева выполнена научно-исследовательская работа (НИР) «Проведение исследования и разработка концепт-проекта реконструкции общежития №1 ЮУрГУ как объекта международного кампуса в г. Челябинске». Научные изыскания выполняются в соответствии с федеральной программой «Приоритет – 2030», что будет способствовать повышению рейтинговых показателей ЮУрГУ и созданию кампуса мирового уровня [1].

Анализ зарубежной практики развития кампусной политики говорит об интенсивной эволюции университетских кампусов в ведущих зарубежных странах. В РФ кампусы создаются, прежде всего, на базе федеральных университетов, а также в вузах крупнейших городов.

В г. Челябинске возникла необходимость создания современного кампуса, что обусловлено программой формирования в РФ конкурентоспособных кампусов до 2030 г. на базе местных университетов [2–4].

МЕТОДЫ

В данной части исследования был проведен сравнительный анализ зарубежной практики архитектурно-экологического проектирования университетских кампусов.

Экологические инновации определяются совокупностью ресурсосберегающих технологий, влияющих на окружающую среду. На основе этих идей созданы прототипы и модели экологически устойчивых архитектурных объ-

ектов. Университетские кампусы имеют свои особенности, которые необходимо учитывать при их архитектурно-экологическом формировании. В современной мировой практике для определения эффективности экологичности университетских кампусов используются следующие показатели: экономия энергоресурсов, степень переработки отходов, площадь экологически устойчивых видов деревьев, кустарников и газонов, размещение водных акваторий, применение экологических видов транспорта, а также количество научных публикаций по этой тематике в высокоиндексируемых изданиях и др. [5].

Самым экологичным университетом в 2021 г. стал *Wageningen University & Research* (Вагенингенский университет, Нидерланды) (рис. 1). Университет г. Вагенингена является единственным вузом Нидерландов, специализирующимся на программах по сельскому хозяйству, пищевой промышленности, защите окружающей среды и экологии. Здесь ведутся фундаментальные научные исследования, ориентированные на практическое применение [6].

Архитектура университета и студенческого кампуса полностью соответствует проводимым исследованиям в области экологии. Конструкции и фасады кампуса не отличаются особой пластичностью, но зато имеют компактную форму, необходимую в условиях скандинавского климата. Остекление технологического корпуса остается минимальным, чтобы повысить энергосберегающие функции здания, так как в лабораториях с большим количеством оборудования не требуется постоянного естественного освещения из-за непродолжительности занятий.

В лекционных и жилых корпусах кампуса остекление является максимальным с юго-восточной стороны, что обеспечивает доста-

точную инсоляцию помещений.

Ландшафтная организация территории кампуса полностью компенсирует объем зданий. Также в состав кампуса включен огромный зеленый зимний сад, где проводятся практически исследования сельскохозяй-

ственной отрасли (рис. 2). Он имеет зеленую инверсионную кровлю, фотоэлектрические панели, а также фасады в виде сплошного энергоэффективного остекления, позволяющего создать тепличные условия с естественным освещением [7].



Рис. 1. Кампус Вагенингенского университета в Нидерландах. Вид с высоты птичьего полета
Fig. 1. Campus Wageningen University in the Netherlands. Bird's eye view



Рис. 2. Зеленый внутренний сад Вагенингенского университета в Нидерландах. Вид с высоты птичьего полета
Fig. 2. The green inner garden of Wageningen University in the Netherlands. Bird's-eye view

Также в топ-10 вошел Национальный университет науки и технологий Пиндун в Республике Тайвань (Китай). Этот кампус (рис. 3) обозначен в номинации «Устойчивый иннова-

ционный университет». Занимает самый большой объединенный кампус на всем Тайване [8]. Был основан в 1974 г. как Сельскохозяйственная школа Пиндун и за эти годы пре-

терпел несколько реструктуризаций, в том числе и архитектурные реконструкции, повышающие экологичность и инновационность объекта.

Университет находится в предгорьях горы Даву на северо-западе г. Нейпу в округе Пиндун, недалеко от р. Дунган. Кампус занимает территорию 298,3 га, поэтому само здание кампуса также было составлено в соответ-

ствии с окружающей его средой и образовательной стратегией (рис. 4).

Кампус включает в себя современные экологические приемы: использование солнечных панелей, оборотное использование дождевой воды, применение вертикального озеленения, а также устройство стеклянного покрытия для снижения расходов на естественное освещение [9, 10].



Рис. 3. Кампус Национального университета науки и технологий Пиндун в Китае. Вид с высоты птичьего полета

Fig. 3. National Taiwan University of Science & Technology campus in China. Bird's eye view



Рис. 4. Кампус Национального университета науки и технологий Пиндун в Китае. Общий вид жилого комплекса для студентов

Fig. 4. National Taiwan University of Science & Technology campus in China. General view of a residential complex for students

Инновационный студенческий кампус *Repsol* в г. Мадриде (Испания), построенный по проекту архитектора Р. де Ла-Ос, является выдающимся примером использования энергоэффективной экологии (рис. 5).

Архитектурный объект был награжден по системе *Green Building Council (USGBC)*. Также был получен сертификат *LEED NC*, который означает, что проектирование и строительство здания осуществлялось по наиболее эффективным требованиям энергосберегающих технологий [11].

Место, выбранное для его размещения, позволило развить старую промышленную зону и превратить ее в рабочую среду, способствующую связи работников и посетителей с местным биоразнообразием. Зеленые зоны имеют большое преобладание и являются домом более чем для 30 000 образцов местной флоры, в том числе 100 местных деревьев: отбирались виды с низкой потребностью в воде, в приоритете были местные растения, по возможности отвечающие эстетическим требованиям (рис. 6).



Рис. 5. Кампус *Repsol* в Испании. Вид с высоты птичьего полета
Fig. 5. Repsol campus in Spain. Bird's eye view



Рис. 6. Кампус *Repsol* в Испании. Дополнительные виды
Fig. 6. Repsol campus in Spain. Additional angles of view

Потребление воды было оптимизировано за счет установки элементов для эффективного использования дождевой воды для орошения. В частности, в кампусе установлены системы капельного орошения с низким потреблением. Кроме того, в комплексе есть подземная цистерна (резервуар) вместимостью 300 000 л дождевой воды с крыш и другой оборотной воды. Столовая в центральной зеленой зоне имеет зеленую крышу, населенную травянистыми видами и кустарниками. Ценно то, что здесь применены солнечные панели и тене-

вые колонны, используются системы климатического контроля.

Проект реконструкции Калифорнийской академии наук (*California Academy of Sciences*) на западе США был разработан архитектором Ренцо Пьяно (Италия). Здание соответствует стандартам системы *LEED* [12]. Его архитектурно-экологической особенностью является «зеленая» крыша площадью более 10 тыс. м² (рис. 7). На эксплуатируемой крыше установлены фотогальванические элементы, вырабатывающие экологически чистую энергию [13].



Рис. 7. Калифорнийская академия наук в США. Вид с высоты птичьего полета
Fig. 7. California Academy of Sciences in the USA. Bird's eye view

Уникальный объект архитектуры коммерческого женского университета (рис. 8) – «Комплекс Кампуса Ихва» в г. Сеуле (*Ewha Campus Complex, ECC*) спроектирован Домиником Перро в 2008 г.

Университет Ихва располагается в центре города, но не в самой благоприятной среде для строительства.

Ландшафт местности имеет огромное ущелье, именно оно и вдохновило архитектора на строительство кампуса, находящегося под землей.

Это функциональное наполнение скрыто от прохожих, потому что здание кампуса не поднимается выше окружающего ландшафта [14].

Стиль объекта – эко-тек, и соответствие этому стилю наблюдается во множестве аспектов. Лестница служит амфитеатром на открытом воздухе (рис. 9).

Сад на крыше летом защищает внутрен-

нее пространство от жары, а зимой – от холода.

Предложенная конструкция, состоящая из металлических батарей, размещается на потолке помещения, соединяясь с трубами, выходящими наружу, чем обеспечивается циркуляция приточного воздуха внутри кампуса. Помимо визуальной привлекательности, проект кампуса является и энергоэффективным.

Оснащение искусственным светом такого количества помещений под землей – это очень дорого и ресурсозатратно.

Поэтому фасады здания стали стеклянными, чтобы в кампус был обеспечен естественным освещением в течение дня.

В Южной Корее влажный климат с сильными ветрами и множеством осадков. Для защиты от природных неблагоприятных условий, стеклянные фасады здания усилены металлическими опорами, выдерживающими любые порывы ветра.



Рис. 8. Кампус *Ewha* в Южной Корее
Fig. 8. Ewha campus in South Korea



Рис. 9. Кампус *Ewha* в Южной Корее. Вид с высоты птичьего полета
Fig. 9. Ewha campus in South Korea. Bird's eye view

Существует также международный экологический стандарт студенческих кампусов, выполняющий требования которого университеты могут получить сертификат качества управления окружающей средой [15]. *Environmental Management System (EMS)* – система, включающая анализ влияния функционирования университета на окружающую среду, анализ

соответствия деятельности вуза законодательству в области экологии, разработку стратегии экологической устойчивости развития вуза, а также минимизацию воздействия его на окружающую среду, предотвращению загрязнений и функционирования вуза с точки зрения охраны окружающей среды [16].

Подобным образом исследованы более

30 экологически устойчивых университетских кампусов [17], входящий в состав топ-10 рейтингов *Green Building Council (USGBC)*, *LEED NC*, *UI Green Metric Ranking of World Universities (UIGWURN)*, *Environmental Management System (EMS)*.

В данной работе представлен обзор наиболее выдающихся представителей мировой архитектурно-экологической практики университетских кампусов. На основе проведенного сравнительного анализа выявлена типология наиболее эффективных приемов архитектурно-экологического формирования университетских кампусов [18].

Принципы архитектурно-экологического проектирования экологически устойчивых университетских кампусов на практике подтверждают идеи, сформулированные американским ученым Дэвидом Орром в конце XX в. [19]. Эти

обобщенные принципы позволяют структурировать множество различных архитектурно-экологических приемов, которые могут быть применены не только к разработке университетских кампусов, но и многофункциональных жилых комплексов средней этажности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование современной зарубежной практики проектирования, реализации и эксплуатации университетских кампусов способствует научной систематизации знаний, выраженной в методологической модели архитектурно-экологического формирования подобных комплексов.

Результаты исследования использованы в НИР «Проведение исследования и разработка концепт-проекта общежития № 1 ЮУрГУ как объекта международного кампуса реконструкции в г. Челябинске» [20].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Shabiev S.G. South Ural State University Campus: Architectural Development Concept in Accordance with the International Standards // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety (Chelyabinsk, 21–22 September 2017). 2017. Vol. 262. № 012131. 6 p. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/262/1/012131>.
2. Захарова Т.В. Эффективность экологической политики: от решения глобальных проблем до формирования университетских кампусов // Вестник Томского государственного университета. Философия. Социология. Политология. 2019. № 47. С. 179–188. <https://doi.org/10.17223/1998863X/47/19>.
3. Пучков М.В. Стратегии развития урбанизированных территорий: кампусные модели как средство управления региональным развитием // Академический вестник УралНИИПроект РААСН. 2021. № 1. С. 30–34.
4. Shabiev S.G. The Ecological City Planning Aspects of the South Ural State University Main Building Complex Reconstruction // Procedia Engineering. 2016. Vol. 150. P. 1978–1982. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.201>.
5. Павлова В.А., Голошубин В.С. Экологические технологии в проектировании современных университетских кампусов // Архитектура и современные информационные технологии. 2017. № 1 (38). С. 371–382.
6. Morrow K. Rio+20, the Green Economy and Reorienting Sustainable Development // Environmental Law Review. 2012. Vol. 14. P. 279–297. <https://doi.org/10.1350/enlr.2012.14.4.166>.
7. Shafiullah D.S., Vergara P.P., Haque A.N.M.M., Nguyen P.H., Pemen A.J.M. Gaussian Mixture Based Uncertainty Modeling to Optimize Energy Management of Heterogeneous Building Neighborhoods: A Case Study of a Dutch University Medical Campus // Energy and Buildings. 2020. Vol. 224. P. 26–39. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110150>.
8. Jiajia Liu, Yunpeng Zhao, Xingfeng Si, Gang Feng, Ferry Slik, Jian Zhang. University campuses as valuable resources for urban biodiversity research and conservation // Urban Forestry & Urban Greening. 2021. Vol. 64. P. 256–281. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127255>.
9. Yong Geng, Kebin Liu, Bing Xue, Tsuyoshi Fujita. Creating a "green university" in China: a case of Shenyang University // Journal of Cleaner Production. 2019. Vol. 61. P. 13–19. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.07.013>.
10. Xinpei Jiang, Bao Zheng, Haifeng Wang. The Research on Eco-campus Evaluation Index System and Weight // Wseas Transactions on Environment and Development. 2010. Vol. 6. Iss. 12. P. 793–803.
11. Celniker Ch., Chen Sh., Meier A., Levinson R. Targeting buildings for energy-saving cool-wall retrofits: a case study at the University of California, Davis // Energy and Buildings. 2021. Vol. 249. P. 167–178. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111014>.
12. Savely S.M., Carson A.I., Delclos G.L. An environmental management system implementation model for U.S. colleges and universities // Journal of Cleaner Production. 2007. № 15 (7). P. 660–670. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.01.013>.
13. Подопригора Ю.В., Захарова Т.В., Кроза Д. Современные университетские кампусы с использованием зеленых инноваций: зарубежный и российский опыт // Естественно-гуманитарные исследования. 2020. № 28 (2). С. 220–226. <https://doi.org/10.24411/2309-4788-2020-10105>.

14. Низамутдинова З.Ф. Разработка модели архитектурно-ландшафтного каркаса университетского кампуса // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. № 10 (105). С. 144–150.
 15. Dahle M., Neumayer E. Overcoming barriers to campus greening: a survey among higher educational institutions in London, UK // International Journal of Sustainability in Higher Education. 2021. Vol. 2. № 2. P. 139–160.
<https://doi.org/10.1108/14676370110388363>.
 16. Елисеев А.М., Подопригра Ю.В., Захарова Т.В. Кампусы будущего в университетских городах России и Франции в условиях цифровой экономики, инноваций и безбарьерной среды // Вестник Томского государственного университета. Экономика. 2020. № 49. С. 225–235.

<https://doi.org/10.17223/19988648/49/16>.
 17. Adedeji P.A., Akinlabi S., Madushele N. Powering the future university campuses: a mini-review of feasible sources // Procedia Manufacturing. 2019. Vol. 35. P. 3–8.
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.05.003>.
 18. Попов А.В., Сырова О.И. Вопросы архитектурно-градостроительной типологии кампусов вузов // Инновации и инвестиции. 2021. № 1. С. 157–161.
 19. Viebahn P. An environmental management model for universities: from environmental guidelines to staff involvement // Journal of Cleaner Production. 2002. № 10. P. 3–12.
 20. Vyatkin G.P., Shabiev S.G. Reconstruction of South Ural State University Buildings and Structures. Shanghai, 2016. 99 p.

REFERENCES

1. Shabiev S.G. South Ural State University Campus: Architectural Development Concept in Accordance with the International Standards. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety*. 21–22 September 2017, Chelyabinsk. 2017. Vol. 262. № 012131. 6 p.
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/262/1/012131>.
 2. Zakharova T.V. The effectiveness of environmental policy: from solving global problems to establishing university campuses. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Filosofiya. Sotsiologiya. Politologiya = Tomsk State University Journal of Philosophy, Sociology and Political Science*. 2019;47:179-188. (In Russ.).
<https://doi.org/10.17223/1998863X/47/19>.
 3. Puchkov M.V. Strategies for the development of urbanized territories: campus models as a means of managing regional development. *Akademicheskij vestnik UralNIIProekt RAASN*. 2021;1:30-34. (In Russ.).
 4. Shabiev S.G. The Ecological City Planning Aspects of the South Ural State University Main Building Complex Reconstruction. *Procedia Engineering*. 2016;150:1978-1982.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.201>.
 5. Pavlova V.A., Goloshubin V.S. Environmental technologies in design of modern university campuses. *Arkhitektura i sovremennye informatsionnye tekhnologii = Architecture and modern information technologies*. 2017;1:371-385. (In Russ.).
 6. Morrow K. Rio+20, the Green Economy and Reorienting Sustainable Development. *Environmental Law Review*. 2012;14:279-297.
<https://doi.org/10.1350/enlr.2012.14.4.166>.
 7. Shafiullah D.S., Vergara P.P., Haque A.N.M.M., Nguyen P.H., Pemen A.J.M. Gaussian Mixture Based Uncertainty Modeling to Optimize Energy Management of Heterogeneous Building Neighborhoods: A Case Study of a Dutch University Medical Campus. *Energy and Buildings*. 2020. Vol. 224. P.

26–39.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110150>.
 8. Jiajia Liu, Yunpeng Zhao, Xingfeng Si, Gang Feng, Ferry Slik, Jian Zhang. University campuses as valuable resources for urban biodiversity research and conservation. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2021;64:256-281.
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127255>.
 9. Yong Geng, Kebin Liu, Bing Xue, Tsuyoshi Fujita. Creating a "green university" in China: a case of Shenyang University. *Journal of Cleaner Production*. 2019;61:13-19.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.07.013>.
 10. Xinpei Jiang, Bao Zheng, Haifeng Wang. The Research on Eco-campus Evaluation Index System and Weight. *Wseas Transactions on Environment and Development*. 2010;6(12):793-803.
 11. Celniker Ch., Chen Sh., Meier A., Levinson R. Targeting buildings for energy-saving cool-wall retrofits: a case study at the University of California, Davis. *Energy and Buildings*. 2021;249:167-178.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111014>.
 12. Savely S.M., Carson A.I., Delclos G.L. An environmental management system implementation model for U.S. colleges and universities. *Journal of Cleaner Production*. 2007;15(7):660-670.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.01.013>.
 13. Podoprigrora Y.V., Zaharova T.V., Crozat D. Modern university campus using green innovations: foreign and Russian experience. 2020;28(2):220-226. (In Russ.).
<https://doi.org/10.24411/2309-4788-2020-10105>.
 14. Nizamutdinova Z.F. Developing a university campus architectural and landscape framework model. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Proceedings of Irkutsk state technical university*. 2015;10:144-150. (In Russ.).
 15. Dahle M., Neumayer E. Overcoming barriers to campus greening: a survey among higher educational institutions in London, UK. *International Jour-*

nal of Sustainability in Higher Education. 2021;2(2):139-160.

<https://doi.org/10.1108/14676370110388363>.

16. Eliseev A.M., Podoprigora Yu.V., Zakharova T.V. Campuses of the future in university cities of Russia and France in the conditions of digital economy, innovation and barrier-free environment. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika = Tomsk State University Journal of Economics*. 2020;49:225-235. (In Russ.).
<https://doi.org/10.17223/19988648/49/16>.

17. Adedeji P.A., Akinlabi S., Madushele N. Powering the future university campuses: a mini-review of

feasible sources. *Procedia Manufacturing*. 2019;35:3-8.

<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.05.003>.

18. Popov A.V., Syrova O.I. Issues of architectural and urban typology of university campuses. *Innovatsii i investitsii*. 2021;1:157-161. (In Russ.).

19. Viebahn P. An environmental management model for universities: from environmental guidelines to staff involvement. *Journal of Cleaner Production*. 2002;10:3-12.

20. Vyatkin G.P., Shabiev S.G. Reconstruction of South Ural State University Buildings and Structures. Shanghai; 2016. 99 p.

Информация об авторах

Чистякова Анна Валерьевна,

аспирант,
Южно-Уральский государственный университет,
454080, Россия, г. Челябинск, пр-т Ленина, 76,
e-mail: annu-chi@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-4552-5962>

Шабиев Салават Галиевич,

доктор архитектуры, профессор,
заведующий кафедрой архитектуры,
Южно-Уральский государственный университет,
454080, Россия, г. Челябинск, пр-т Ленина, 76,
e-mail: shabievsg@susu.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-9405-2079>

Вклад авторов

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 30.11.2022.
Одобрена после рецензирования 19.12.2022.
Принята к публикации 20.12.2022.

Information about the authors

Anna V. Chistiakova,

Postgraduate Student,
South Ural State University,
76 Lenina St., Chelyabinsk 454080, Russia,
e-mail: annu-chi@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4552-5962>

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,
<https://orcid.org/0000-0001-9405-2079>

Contribution of the authors

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

Conflict of interests

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

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

Information about the article

The article was submitted 30.11.2022.
Approved after reviewing 19.12.2022.
Accepted for publication 20.12.2022.

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

Мы приглашаем Вас к участию в нашем журнале в качестве авторов, рекламодателей, читателей и сообщаем требования к статьям, принимаемым к публикации.

Журнал «Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость» публикует научные статьи и обзоры российских и зарубежных ученых, в том числе докторантов и аспирантов, содержащие новые результаты научных исследований.

Тематический охват соответствует утвержденной номенклатуре научных специальностей:

- 2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки);
- 2.1.2. Основания и фундаменты, подземные сооружения (технические науки);
- 2.1.3. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение (технические науки);
- 2.1.4. Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов (технические науки);
- 2.1.5. Строительные материалы и изделия (технические науки);
- 2.1.6. Гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология (технические науки);
- 2.1.7. Технология и организация строительства (технические науки);
- 2.1.8. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей (технические науки);
- 2.1.9. Строительная механика (технические науки);
- 2.1.10. Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства (технические науки);
- 2.1.11. Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия (архитектура);
- 2.1.12. Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности (архитектура);
- 2.1.13. Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов (архитектура)
- 2.1.14. Управление жизненным циклом объектов строительства (технические науки)
- 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика (экономические науки)
- 5.2.6. Менеджмент (экономические науки)

Представляемая в журнал работа должна быть законченным научным исследованием и содержать новые научные результаты, нигде ранее не публиковавшиеся и не представленные к публикации в других изданиях.

Статьи должны быть выполнены на высоком научном уровне и содержать результаты исследований по соответствующей проблематике. Рукопись, присылаемая в редакцию, должна соответствовать тематике журнала и требованиям редакции к оформлению рукописей.

1. Материалы, представляемые авторами в редакцию:

- Статья в печатном виде и идентичном варианте в электронной форме (с расширением *.doc и *.pdf);
- Иллюстрации к статье (рисунки, графики и т.д.) в электронном виде (в формате jpg);
- Авторское заявление;
- Сопроводительное письмо;
- Договор;
- Экспертное заключение.

2. Рукопись должна быть построена следующим образом:

- **Шифр УДК;**
- **Название статьи;**
- **Информация об авторах:** фамилия, имя, отчество; название учреждения;
- **Реферат (аннотация)** – количество слов – 200;
- **Ключевые слова** – (4–6);
- **Библиографические ссылки** должны быть соответственно оформлены:

1 вариант: Библиографический список – приводится русскоязычный вариант вместе с зарубежными источниками. Оформляется согласно ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления». Ссылки на электронные документы должны оформляться согласно ГОСТ 7.82-2001 «Библиографическая запись. Библиографическое описание электронных ресурсов». Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

2 вариант: *References* (для зарубежных баз данных) – приводится полностью отдельным блоком, повторяя список литературы к русскоязычной части, независимо от того, имеются или нет в нем иностранные источники. Если в списке есть ссылки на иностранные публикации, то они полностью повторяются в списке, готовящемся в романском алфавите.

В статье должны быть ссылки на иностранные источники, изданные не ранее, чем за последние 5 лет, свидетельствующие о том, что автором изучен вклад ученых разных стран в исследование проблемы.

- **Критерии авторства, конфликт интересов;**
- **Сведения об авторах:** фамилия, имя, отчество (полностью); ученая степень, звание и должность; название учреждения, его адрес с индексом; e-mail; ORCID.
- **Название рубрики**, в которой должна быть размещена статья.

3. Рекомендации по набору и оформлению текста

Параметры страницы и абзаца: отступы сверху и снизу – 2 см; слева и справа – 2 см; табуляция – 0,6 см; ориентация – книжная;

Шрифт – Arial, размер – 10, межстрочный интервал – одинарный, перенос слов – автоматический.

При вставке формул использовать *Microsoft Equation 3* при установках: элементы формулы выполняются – курсивом; для греческих букв и символов назначать шрифт Symbol, для остальных элементов – Arial.

Размер символов: обычный – 12 пт, крупный индекс – 7 пт, мелкий индекс – 5 пт, крупный символ – 18 пт, мелкий символ – 12 пт. Все экспликации элементов формул необходимо также выполнять в виде формул.

Рисунки, вставленные в текст, должны быть выполнены с разрешением 300 dpi, B&W – для черно-белых иллюстраций, Grayscale – для полутонов, максимальный размер рисунка с надписью: ширина 170 мм, высота 245 мм. Рисунки должны быть представлены в виде файла с расширением *.BMP, *.TIFF, *.JPG, должны допускать перемещение в тексте и возможность изменения размеров. Схемы, графики выполняются во встроенной программе MS Word или в MS Excel, с приложением файлов.

Для построения графиков и диаграмм следует использовать программу *Microsoft Office Excel*. Каждый рисунок вставляется в текст как объект *Microsoft Office Excel*.

Внимание! Публикация статьи является бесплатной.

Статьи направляются в редакцию журнала по электронной почте izv_isn@istu.edu. Рукописи статей и оригиналы всех необходимых документов предоставляются по адресу: 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, редакционный отдел, ауд. Д-215, Никишиной О.В.

Телефон: (3952) 40-56-11, с.т.: 8 964 656 46 70 – Никишина Ольга Валерьевна, ответственный за выпуск,
(3952) 40-54-92– Акулова Ирина Николаевна, редактор.

**ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ
ИНВЕСТИЦИИ. СТРОИТЕЛЬСТВО. НЕДВИЖИМОСТЬ**

Научный журнал

12+

Том 13 № 1 (44)

Главный редактор В.В. Пешков
Ответственный за выпуск О.В. Никишина
Дизайн и макет издания Е.В. Хохрина
Перевод Томаса Бивитта, Н.Г. Поповой, О.В. Никишиной
Верстка О.В. Никишиной
Редактор И.Н. Акулова

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

Выход в свет 30.03.2023. Формат 60 x 90 / 8 (А4).
Бумага офсетная. Печать цифровая. Усл. печ. л. 23,20.
Тираж 500 экз. Зак. 17. Поз. плана бн.

Издание распространяется бесплатно

ФГБОУ ВО “Иркутский национальный исследовательский технический университет”
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

Отпечатано в типографии Издательства
ФГБОУ ВО “Иркутский национальный исследовательский технический университет”
Адрес типографии: 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83А



24-я сессия Международного Байкальского зимнего градостроительного университета ИРНИТУ (г. Иркутск, 27 февраля – 11 марта 2023 года)

В ИРНИТУ с 27 февраля по 11 марта проходила 24-я сессия Международного Байкальского зимнего градостроительного университета (МБЗГУ) – единственного в России ежегодного международного градостроительного воркшопа. Зимний университет – оригинальная модель подготовки молодых специалистов различных специальностей, связанных с развитием городов. За 24 года в проектно-инновационных образовательных программах Зимнего университета приняли участие более 1000 молодых специалистов, ассистентов, экспертов, членов Международного жюри, являющиеся представителями более чем 50 университетов из 42 стран со всех уголков мира и ряда городов России: Москвы, Санкт-Петербурга, Волгограда, Ростова-на-Дону, Красноярска, Новосибирска, Владивостока, Екатеринбурга, Иркутска, Тюмени, Севастополя, Уфы, Ярославля.

Целью 24-й сессии МБЗГУ «Усолье-Сибирское – индустриальный эко-город будущего» являлась разработка концепции развития городской среды с детализацией территорий первоочередного строительства и благоустройства (выявление точек роста и осей развития территории города). Организаторами 24-й сессии выступили ИРНИТУ, Правительство Приангарья, администрация г. Усолье-Сибирское, ГК «Росатом», Региональный академический научно-образовательный центр (РАНОЦ) РААСН, Союз архитекторов России.

Выбор г. Усолье-Сибирское не случаен – он, как и г. Байкальск, рассматриваемый на 23-й сессии, находится в современной федеральной повестке. Эко-логика, ставшая главной идеей, посвященной г. Байкальску, продолжится и на 24-й сессии «Усолье-Сибирское – индустриальный эко-город будущего». Вместе с тем, в городе особо остро стоят вопросы не только экономического, социального и экологического характера, но и всего комплекса вопросов пространственного планирования. В 2016 г. город приобрел статус территории опережающего социально-экономического развития (ТОСЭР). Цель создания ТОСЭР – формирование благоприятных условий для привлечения инвестиций, обеспечения ускоренного социально-экономического развития и создания комфортных условий для обеспечения жизнедеятельности населения. Бывшее градообразующее предприятие «Усольехимпром» стало источником экологических проблем, в связи с чем в 2018 г. в г. Усолье-Сибирское объявлен режим чрезвычайной ситуации из-за угрозы техногенного характера – заражения химическими отходами. В 2020 г. на площадке «Усольехимпрома» начались первоочередные мероприятия по ликвидации накопленного вреда, идет подготовка проекта рекультивации территории. Также проблематика города связана с наличием аварийного жилого фонда, в том числе четырехэтажных панельных домов серии 1-335, не являющихся сейсмоустойчивыми. Кроме того, в г. Усолье-Сибирское формируется Федеральный центр химии, также город входит в состав регионального газохимического комплекса, создаваемого на базе Ковыктинского газоконденсатного месторождения. В г. Усолье-Сибирское принято решение о комплексном развитии территории жилой застройки.

Таким образом, можно сказать, что город столкнулся с целым рядом непростых вызовов и при этом активно отвечает на них, используя различные механизмы, взаимодействуя со всеми уровнями власти.

Отличительной особенностью 24-й сессии является участие экспертной команды мирового уровня. В качестве экспертов сессии выступили:

1. Michael Klamer, профессор кафедры транспортного планирования технического университета (г. Вена, Австрия), в режиме ВКС.
2. Козак Игорь Владимирович, директор ООО «Перспектива+», член правления ОТПОО ИРО «Союз архитекторов России».
3. Перельгин Юрий Александрович, главный инженер ООО Институт «Ленгипрогор», научный руководитель фонда ЦСР «Северо-Запад».
4. Пинус Борис Израилевич, д.т.н., профессор, профессор кафедры строительного производства ИРНИТУ, в режиме ВКС.
5. Фэн Фан, профессор Харбинского политехнического университета (г. Харбин, КНР), в режиме ВКС.
6. Barbara Engel, профессор кафедры градостроительства Технологического института Карлсруэ (Германия), в режиме ВКС.

7. Alexandra Den Heijer, профессор факультета архитектуры Делфтского технологического университета (Нидерланды), в режиме ВКС.

8. Oja Atalay Frank, профессор Школы архитектуры, дизайна и гражданского строительства Цюрихского университета прикладных наук (Швейцария), в режиме ВКС.

9. Carola Neugebauer, профессор кафедры сохранения культурного наследия Рейнско-Вестфальского технического университет (г. Ахен, Германия), в режиме ВКС.

Итоговая защита презентаций состоялась 11 марта в Точке кипения ИРНТУ. Свыше 20 архитекторов, градостроителей и урбанистов из России, Индии, Сирии и Молдовы выстраивали концепции развития города. Предложения авторов охватывали пять площадок – «Административный центр», «Промышленный узел», «Привокзальный район», «Кирзавод», «Исторический центр».

Авторами лучшего проекта стали: Дарья Новиченко, студент Иркутского политеха, Полина Шурупова из г. Москвы, Ирина Алексеева из г. Красноярск, Гульгена Муратова из г. Казани и Ольга Михеева из г. Владивостока. Они исследовали территорию Старого города – исторический центр, расположенный на берегу р. Ангары, преимущественно застроенный частными домами. Концепция команды предполагает открытие Гражданско-культурного центра и Центра по работе с объектами культурного наследия. Задача этих организаций – воспитывать у населения бережное отношение к памятникам архитектуры и помогать горожанам, живущим в старых домах, ухаживать за ними. Кроме того, в проекте предусмотрены: строительство обзорной площадки на о. Варничный, обустройство набережной р. Ангары и прямой транзит к ней через курорт «Усолье». Открытым творческим пространством могут стать Базарный сквер и ул. Карла Маркса, которую предлагается сделать пешеходной, т.к. через Старый город проходят просторные улицы.

По итогам работы 24-й сессии МБЗГУ будут сформированы предложения для «Дорожной карты» по внесению изменений в генеральный план г. Усолье-Сибирское, разработке Мастер-плана, Правил землепользования и застройки, Правил благоустройства территории, Программы комплексного развития и иные документы, направленные на развитие г. Усолье-Сибирское как индустриального экогорода будущего.



Участники, эксперты и гости 24-й сессии Международного Байкальского зимнего градостроительного университета



**ВЫСШАЯ
АТТЕСТАЦИОННАЯ КОМИССИЯ (ВАК)**
Министерства образования и науки Российской Федерации



РОССИЙСКИЙ ИНДЕКС
НАУЧНОГО ЦИТИРОВАНИЯ
Science Index



CYBERLENINKA

OPEN ACCESS



Crossref
Content
Registration



INDEX COPERNICUS
INTERNATIONAL

Google Scholar



АНРИ
Ассоциация научных
редакторов и издателей

