

ISSN 1997-0935 (Print)
ISSN 2304-6600 (Online)
vestnikmgsu.ru

ВЕСТНИК МГСУ

Научно-технический журнал
по строительству и архитектуре

Том 18 Выпуск 9/2023
Vol. Issue

VESTNIK MGSU

Monthly Journal on Construction
and Architecture

DOI: 10.22227/1997-0935.2023.9

ISSN 1997-0935 (Print)
ISSN 2304-6600 (Online)
<http://vestnikmgsu.ru>

ВЕСТНИК МГСУ

Научно-технический журнал по строительству и архитектуре

**Том 18. Выпуск 9
2023**

Основан в 2005 году,
1-й номер вышел в сентябре 2006 г.
Выходит ежемесячно

Сквозной номер 178

VESTNIK MGSU

Monthly Journal on Construction and Architecture

**Volume 18. Issue 9
2023**

Founded in 2005,
1st issue was published in September, 2006.
Published monthly

«Вестник МГСУ» — рецензируемый научно-технический журнал по строительству и архитектуре, целями которого являются формирование открытого информационного пространства для обмена результатами научных исследований и мнениями в области строительства между российскими и зарубежными исследователями; привлечение внимания к наиболее актуальным, перспективным и интересным направлениям строительной науки и практики, теории и истории градостроительства, архитектурного творчества.

В основных тематических разделах журнала публикуются оригинальные научные статьи, обзоры, краткие сообщения, статьи по вопросам применения научных достижений в практической деятельности предприятий строительной отрасли, рецензии на актуальные публикации

Тематические рубрики

- Архитектура и градостроительство. Реконструкция и реставрация
- Проектирование и конструирование строительных систем. Строительная механика. Основания и фундаменты, подземные сооружения
- Строительное материаловедение
- Безопасность строительства и городского хозяйства
- Гидравлика. Геотехника. Гидротехническое строительство
- Инженерные системы в строительстве
- Технология и организация строительства. Экономика и управление в строительстве
- Краткие сообщения. Дискуссии и рецензии. Информация

Наименование органа, зарегистрировавшего издание:	Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-63119 от 18 сентября 2015 г.
ISSN	1997-0935 (Print) 2304-6600 (Online)
Периодичность:	12 раз в год
Учредители:	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), 129337, Москва, Ярославское ш., д. 26; Общество с ограниченной ответственностью «Издательство АСВ», 129337, Москва, Ярославское ш., д. 19, корп. 1.
Выходит при научно-информационной поддержке:	Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН), Международной общественной организации содействия строительному образованию — АСВ.
Издатель:	ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет». Издательство МИСИ – МГСУ 129337, Москва, Ярославское ш., д. 26. Сайт: www.mgsu.ru E-mail: journals@mgsu.ru
Типография:	Типография Издательства МИСИ – МГСУ 129337, Москва, Ярославское ш., д. 26 корп. 8. Тел.: (499) 183-91-44, 183-67-92, 183-91-90
Сайт журнала:	http://vestnikmgsu.ru
E-mail:	journals@mgsu.ru
Тел.:	(495) 287-49-14, доб. 24-76
Подписка и распространение:	Журнал распространяется бесплатно в открытом доступе и по подписке. Подписка по Объединенному каталогу «Пресса России». Подписной индекс 83989. Цена свободная.
Подписан в печать	27.09.2023.
Подписан в свет	29.09.2023.
Формат 60×84/8. Усл. печ. л. 20,33. Тираж 100 экз. (1-й завод 50 экз.). Заказ № 292	

Главный редактор

Валерий Иванович Теличенко, академик, первый вице-президент Российской академии архитектуры и строительных наук, д-р техн. наук, проф., проф. каф. строительства объектов тепловой и атомной энергетики, почетный президент, НИУ МГСУ, Москва, Российская Федерация

Заместители главного редактора

Армен Заветович Тер-Мартirosян, д-р техн. наук, проректор, главный научный сотрудник научно-образовательного центра «Геотехника», НИУ МГСУ, Москва, Российская Федерация

Вера Владимировна Галишикова, д-р техн. наук, доц., проф. каф. железобетонных и каменных конструкций, проректор, НИУ МГСУ, Москва, Российская Федерация

Редакционная коллегия

Павел Алексеевич Акимов, д-р техн. наук, проф., академик Российской академии архитектуры и строительных наук, ректор, НИУ МГСУ, Москва, Российская Федерация

Петр Банашук, д-р, проф., Белостокский технологический университет, Республика Польша

Александр Тевьетевич Беккер, чл.-корр. Российской академии архитектуры и строительных наук, д-р техн. наук, проф., директор инженерной школы, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный федеральный университет», Дальневосточная региональная организация Российской академии архитектуры и строительных наук, Владивосток, Российская Федерация

Виталий Васильевич Беликов, д-р техн. наук, главный научный сотрудник лаборатории гидрологии речных бассейнов, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных проблем Российской академии наук, Москва, Российская Федерация

Александр Михайлович Белостоцкий, д-р техн. наук, проф., академик Российской академии архитектуры и строительных наук, научный руководитель, Научно-образовательный центр компьютерного моделирования уникальных зданий, сооружений и комплексов им. А.Б. Золотова, НИУ МГСУ, Москва, Российская Федерация

Х.Й.Х. Броуэрс, д-р инж. (технические науки, строительные материалы), проф., Технический университет Эйндховена, Королевство Нидерландов (Голландия)

Йост Вальравен, д-р инж. (технические науки, железобетонные конструкции), проф., Технический университет Дельфты, Королевство Нидерландов

Николай Иванович Ватин, д-р техн. наук, проф., Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Санкт-Петербург, Российская Федерация

Йозеф Вичан, д-р (технические науки, железобетонные конструкции), проф., Университет Жилина, Словацкая Республика

Забигнев Войчицки, д-р (строительная механика), проф., Вроцлавский технологический университет, Республика Польша

Катажина Гладышевска-Федорук, д-р техн. наук, проф., Белостокский технологический университет, Республика Польша

Милан Голицки, д-р (технические науки, строительные конструкции), проф., Институт Клокнера Чешского технического университета в Праге, Чешская Республика

Петр Григорьевич Грабовый, д-р экон. наук, проф., зав. каф. организации строительства и управления недвижимостью, НИУ МГСУ, Москва, Российская Федерация

Станислав Емиоло, д-р техн. наук, проф., зав. каф. сопротивления материалов, теории упругости и пластичности, Варшавский технологический университет, инженерно-строительный факультет, Республика Польша

Армен Юрьевич Казарян, д-р искусствоведения, академик Российской академии архитектуры и строительных наук, и.о. директора института архитектуры и градостроительства, НИУ МГСУ, Москва, Россия

Рольф Катценбах, д-р инж., проф., Технический университет Дармштадт, Федеративная Республика Германия

Дмитрий Вячеславович Козлов, д-р техн. наук, проф., зав. каф. гидравлики и гидротехнического строительства, НИУ МГСУ, Москва, Российская Федерация

Елена Анатольевна Король, чл.-корр. Российской академии архитектуры и строительных наук, д-р техн. наук, проф., зав. каф. жилищно-коммунального комплекса, НИУ МГСУ, Москва, Российская Федерация

Марта Косор-Казербук, д-р техн. наук, проф., Белостокский технологический университет, Республика Польша

Сергей Владимирович Кузнецов, д-р физ.-мат. наук, проф., главный научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук, Москва, Российская Федерация

Аркадий Николаевич Ларионов, д-р экон. наук, проф., зав. каф. экономики и управления в строительстве, НИУ МГСУ, Москва, Российская Федерация

Руда Лийас, канд. экон. наук, проф., Таллинский технический университет, Эстония

Инесса Галеевна Лукманова, д-р экон. наук, проф., проф. каф. экономики и управления в строительстве, НИУ МГСУ, Москва, Российская Федерация

Левон Рафаэлович Маляян, д-р техн. наук, проф., академик Российской академии архитектуры и строительных наук, проф. каф. автомобильных дорог, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Николай Павлович Осмоловский, д-р физ.-мат. наук, проф., Институт системных исследований Польской академии наук, Варшава, Республика Польша

Андрей Будимирович Пономарев, д-р техн. наук, проф., зав. каф. строительного производства и геотехники, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь, Российская Федерация

Мирослав Премров, д-р, проф., Мариборский университет, Республика Словения

Светлана Васильевна Самченко, д-р техн. наук, проф., зав. каф. строительного материаловедения, НИУ МГСУ, Москва, Российская Федерация

Владимир Николаевич Сидоров, д-р техн. наук, проф., чл.-корр. Российской академии архитектуры и строительных наук, зав. каф. информатики и прикладной математики, НИУ МГСУ, Москва, Российская Федерация

Редакция журнала

Выпускающий редактор: *Анна Александровна Дядичева*

Редактор: *Татьяна Владимировна Бердникова*

Перевод на английский язык: *Ольга Валерьевна Юденкова*

Корректор: *Оксана Валерьевна Ермихина*

Дизайн и верстка: *Алина Юрьевна Байкова*

Журнал включен в утвержденный ВАК Минобрнауки России Перечень рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук. Индексируется в РИНЦ, Научной электронной библиотеке «КиберЛенинка», UlrichsWeb Global Serials Directory, DOAJ, EBSCO, Index Copernicus, RSCI (Russian Science Citation Index на платформе Web of Science), ResearchBib

Председатель редакционного совета

Александр Романович Туснин, д-р техн. наук, проф., зав. каф. металлических и деревянных конструкций, НИУ МГСУ, Москва, Российская Федерация

Редакционный совет

Юрий Владимирович Алексеев, д-р архитектуры, проф., проф. каф. градостроительства, НИУ МГСУ, Москва, Российская Федерация

Николай Владимирович Баничук, д-р физ.-мат. наук, проф., зав. лаб. механики и оптимизации конструкций, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук, Москва, Российская Федерация

Игорь Андреевич Бондаренко, д-р архитектуры, проф., акад. Российской академии архитектуры и строительных наук, директор, Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «ЦНИИП Минстроя России» Научно-исследовательский институт теории и истории архитектуры и градостроительства (НИИТИАГ), Москва, Российская Федерация

Наталья Григорьевна Верстина, д-р экон. наук, проф., зав. каф. менеджмента и инноваций, НИУ МГСУ, Москва, Российская Федерация

Александр Николаевич Власов, д-р техн. наук, директор, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт прикладной механики Российской академии наук», Москва, Российская Федерация

Владимир Геннадьевич Гагарин, д-р техн. наук, проф., чл.-корр. Российской академии архитектуры и строительных наук, главный научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, Москва, Российская Федерация

Нина Васильевна Данилина, д-р техн. наук, зав. каф. градостроительства, НИУ МГСУ, Москва, Российская Федерация

Олег Васильевич Кабанцев, д-р техн. наук, доц., директор научно-технических проектов, проф. каф. железобетонных и каменных конструкций, НИУ МГСУ, Москва, Российская Федерация

Михаил Николаевич Кирсанов, д-р физ.-мат. наук, проф. каф. робототехники, мехатроники, динамики и прочности машин, Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт», Москва, Российская Федерация

Елена Юрьевна Куликова, д-р техн. наук, проф. каф. строительства подземных сооружений и шахт, каф. инженерной защиты окружающей среды, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»», Москва, Российская Федерация

Леонид Семенович Ляхович, д-р техн. наук, проф., акад. Российской академии архитектуры и строительных наук, зав. каф. строительной механики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный архитектурно-строительный университет», Томск, Российская Федерация

Рашид Абдуллович Мангушев, д-р техн. наук, проф., чл.-корр. Российской академии архитектуры и строительных наук, зав. каф. геотехники, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего обра-

зования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», Санкт-Петербург, Российская Федерация

Владимир Львович Мондрус, д-р техн. наук, проф., чл.-корр. Российской академии архитектуры и строительных наук, зав. каф. строительной и теоретической механики, НИУ МГСУ, Москва, Российская Федерация

Андрей Александрович Морозенко, д-р техн. наук, доц., зав. каф. строительства объектов тепловой и атомной энергетики, НИУ МГСУ, Москва, Российская Федерация

Надежда Сергеевна Никитина, канд. техн. наук, проф. каф. механики грунтов и геотехники, старший научный сотрудник, НИУ МГСУ, Москва, Российская Федерация

Владимир Александрович Орлов, д-р техн. наук, проф., проф. каф. водоснабжения и водоотведения, НИУ МГСУ, Москва, Россия

Петр Ян Паль, д-р, проф., Технический университет Берлина, Федеративная Республика Германия

Олег Григорьевич Примин, д-р техн. наук, проф., зам. директора по научным исследованиям, АО «Мосводоканал НИИпроект», Москва, Российская Федерация

Станислав Владимирович Соболев, д-р техн. наук, проф., проректор, зав. каф. гидротехнических и транспортных сооружений, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет», Нижний Новгород, Российская Федерация

Михаил Юрьевич Слесарев, д-р техн. наук, проф., проф. каф. строительства объектов тепловой и атомной энергетики, НИУ МГСУ, Москва, Российская Федерация

Юрий Андреевич Табунщиков, д-р техн. наук, проф., чл.-корр. Российской академии архитектуры и строительных наук, проф. и зав. каф. инженерного оборудования зданий и сооружений, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский архитектурный институт (Государственная академия)» (МАРХИ), Москва, Российская Федерация

Владимир Ильич Травуш, д-р техн. наук, проф., акад. и вице-президент Российской академии архитектуры и строительных наук, зам. генерального директора, главный конструктор, ЗАО «Горпроект», Москва, Российская Федерация

Виктор Владимирович Тур, д-р техн. наук, проф., зав. каф. технологии бетона, Брестский государственный технический университет, Брест, Республика Беларусь; проф., Белостокский технологический университет, Белосток, Республика Польша

Наталья Витальевна Федорова, д-р техн. наук, проф., зав. каф. архитектурно-строительного проектирования, НИУ МГСУ, директор Мытищинского филиала НИУ МГСУ, Мытищи, Российская Федерация

Наталья Николаевна Федорова, д-р физ.-мат. наук, проф., ведущий научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Российская Федерация

Наталья Юрьевна Яськова, д-р экон. наук, проф., зав. каф. инвестиционно-строительного бизнеса, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, Москва, Российская Федерация

VESTNIK ^{MGSU}

Monthly Journal on Construction and Architecture

Vestnik MGSU is a peer-reviewed scientific and technical journal whose aims are to publish and disseminate the results of Russian and foreign scientific research to ensure a broad exchange of scientific information, form an open information cluster in the field of construction science and education, enhance the international prestige of Russian construction science and professional education of various levels, introduce innovative technologies in the processes of training professional and scientific personnel in the construction industry and architecture.

The main thematic sections of the journal publish original scientific articles, reviews, brief reports, articles on the application of scientific achievements in the educational process and practical activity of enterprises in the construction industry, reviews of current publications.

Thematic sections

- Architecture and Urban Planning. Reconstruction and Refurbishment
- Construction System Design and Layout Planning. Construction Mechanics. Bases and Foundations, Underground Structures
- Construction Material Engineering
- Safety of Construction and Urban Economy
- Hydraulics. Geotechnique. Hydrotechnical Construction
- Engineering Systems in Construction
- Technology and Organization of Construction. Economics and Management in Construction
- Short Messages. Discussions and Reviews. Information

ISSN	1997-0935 (Print) 2304-6600 (Online)
Publication Frequency:	Monthly
Founders:	Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, Russian Federation, 129337; Limited Liability Company “ASV Publishing House”, 19, building 1 Yaroslavskoe shosse, Moscow, Russian Federation, 129337.
The Journal enjoys the academic and informational support provided by	The Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (RAACS), International public organization of assistance to construction education (ASV)
Publisher:	Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, Russian Federation, 129337 Website: www.mgsu.ru E-mail: journals@mgsu.ru
Printing House:	Printing house of the Publishing house MISI – MGSU building 8, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, Russian Federation, 129337 tel. (499) 183-91-44, 183-67-92, 183-91-90.
Website journal:	http://vestnikmgsu.ru
E-mail:	vestnikmgsu@mgsu.ru , journals@mgsu.ru
Subscription:	Citizens of the CIS and other foreign countries can subscribe by catalog agency “Informnauka”, magazine subscription index 18077.
Signed for printing:	27.09.2023

Distributed by subscription

© Federal State Budget Educational Institution of Higher Education “Moscow State University of Civil Engineering (National Research University)”, 2023

Editor-in-Chief

Valery Ivanovich Telichenko, Academician, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

Deputy Editor-in-Chief

Armen Z. Ter-Martirosyan, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

Vera V. Galishnikova, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

Editorial Board

Pavel A. Akimov, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

Piotr Banaszuk, Bialystok University of Technology, Republic of Poland

Alexander T. Bekker, Far Eastern Federal University, Far Eastern Regional Branch of Russian Federation Academy of Architecture and Construction Sciences, Vladivostok, Russian Federation

Vitaliy V. Belikov, Water Problems Institute of Russian Federation Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

Aleksandr M. Belostotskiy, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

H.J.H. Brouwers, Eindhoven University of Technology, Kingdom of the Netherlands

Elena A. Korol, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

Arkady N. Larionov, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

Inessa G. Lukmanova, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

Levon R. Mailyan, Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Katarzyna Gladyszewska-Fiedoruk, Bialystok University of Technology, Republic of Poland

Petr G. Grabovyy, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

Milan Holický, Czech Technical University in Prague, Klokner Institute, Czech Republic

Stanislav Jemiolo, Warsaw University of Technology, Faculty of Civil Engineering, Republic of Poland

Rolf Katzenbach, Technical University of Darmstadt, Federal Republic of Germany

Armen Yu. Kazaryan, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

Marta Kosior-Kazberuk, Bialystok University of Technology, Republic of Poland

Dmitry V. Kozlov, Moscow State University of civil engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

Sergey V. Kuznetsov, Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics RAS, Moscow, Russian Federation

Roode Liias, Tallin University of Technology, Estonia

Nikolai P. Osmolovskii, Systems Research Institute, Polish Academy of Sciences, Republic of Poland

Andrey B. Ponomarev, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

Miroslav Premrov, University of Maribor, Republic of Slovenia

Svetlana V. Samchenko, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

Vladimir N. Sidorov, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

Nikolay I. Vatin, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russian Federation

Josef Vichan, University of Zilina, Slovak Republic

Joost Walraven, Delft University of Technology, Netherlands

Zbigniew Wojcicki, Wroclaw University of Technology, Republic of Poland

Editorial team of issues

Executive editor: *Anna A. Dyadicheva*

Corrector: *Oksana V. Ermikhina*

Editor: *Tat'yana V. Berdnikova*

Layout: *Alina Y. Baykova*

Russian-English translation: *Ol'ga V. Yudenkova*

Chairman of the Editorial Board

Alexander R. Tusnin, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

Editorial Council

Yuri V. Alekseev, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

Nikolay V. Banichuk, A.Yu. Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics of RAS, Moscow, Russian Federation

Igor A. Bondarenko, Federal State Budgetary Institution “TsNIIP of the Ministry of Construction of Russian Federation”, Research Institute of Theory and History of Architecture and Urban Development (NIITIAG), Moscow, Russian Federation

Nina V. Danilina, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

Natalya N. Fedorova, Khristianovich Institute of Theoretical and Applied Mechanics SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation

Nataliya V. Fedorova, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

Vladimir G. Gagarin, Scientific-research Institute of building physics Russian Federation Academy of architecture and construction Sciences, Moscow, Russian Federation

Boris. B. Khrustalev, Penza state University of architecture and construction, Penza, Russian Federation

Mikhail N. Kirsanov, National Research University “Moscow Power Engineering Institute” (MPEI), Moscow, Russian Federation

Oleg V. Kabantsev, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

Elena Yu. Kulikova, National Research Technological University “MISiS”, Moscow, Russian Federation

Leonid S. Lyakhovich, Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, Tomsk, Russian Federation

Rashid A. Mangushev, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russian Federation

Vladimir L. Mondrus, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

Andrei A. Morozenko, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

Nadezhda S. Nikitina, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

Vladimir A. Orlov, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

Peter J. Pahl, Berlin Technical University, Federal Republic of Germany

Oleg G. Primin, “MosVodoKanalNIIProekt” JSC, Moscow, Russian Federation

Stanislav V. Sobol, Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Nizhny Novgorod, Russian Federation

Mikhail Yu. Slesarev, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

Yury A. Tabunschikov, Moscow Institute of Architecture (State Academy), Moscow, Russian Federation

Vladimir I. Travush, CJSC “Gorproject”, Moscow, Russian Federation

Viktor V. Tur, Brest State Technical University Brest, Republic of Belarus; Bialystok University of Technologies, Bialystok, Republic of Poland

Natalia G. Verstina, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

Natal'ya Yu. Yas'kova, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Moscow, Russian Federation

Alexander N. Vlasov, Institute of Applied Mechanics of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

СОДЕРЖАНИЕ

АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ И РЕСТАВРАЦИЯ

Д.О. Бабкина, О.И. Адамов

Преобразование городской среды с учетом восприятия образа и соучастия жителей (Басманный район в центре Москвы) 1339

Е.А. Волкова, Ю.Е. Нижегородцева, А.А. Мороз

Пространственная и технологическая организация университетских кампусов Новосибирска 1355

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ. СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА. ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

А.Г. Тамразян, В.И. Черник

Жесткость поврежденной пожаром железобетонной колонны при разгрузке после высокоинтенсивного горизонтального воздействия 1369

Ф.С. Школяр, Д.В. Rogozinnikova

Моделирование статически нагруженной одиночной сваи с учетом нелинейности грунта оснований . . . 1383

СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

В.Ю. Чернов, Е.С. Шарапов, Е.М. Мальцева, Е.Н. Пегушина

Исследование влияния термической модификации древесины на адгезионные и прочностные свойства древесно-цементной композиции 1394

ГИДРАВЛИКА. ГЕОТЕХНИКА. ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

И.М. Маркова, Фан Хань Хань

Оценка влияния противопаводковых сооружений на уровень воды в нижнем течении речной системы Сайгон – Донгнай 1408

Г.В. Орехов, М.К. Складнев

Экспериментальный стенд для физического моделирования течений в проточном тракте гидротурбин . . 1422

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

С.В. Саргсян, В.Ю. Кравчук

Поддержание требуемых параметров микроклимата неотапливаемых частей зданий за счет организации переточного воздушного отопления 1433

Д.О. Хлопицын, А.Г. Рымаров

Усовершенствованная рекуператорная установка с повышенным коэффициентом полезного действия для использования в механических системах вентиляции 1444

А.Л. Торопов

Применение электрических котлов для водяного поквартирного теплоснабжения. 1451

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

М.Ю. Мишланова, А.Г. Баранова

Современное состояние и направления развития проектного управления в дорожном строительстве . . . 1466

Н.Г. Верстина, С.С. Игитханян, О.Ф. Цуверкалова

Имущественные комплексы университетов в условиях реализации госполитики РФ в сфере высшего образования. 1477

Требования к оформлению научной статьи 1494

CONTENTS

ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING. RECONSTRUCTION AND REFURBISHMENT

Daria O. Babkina, Oleg I. Adamov
Urban Environment Transformation, Taking into Account Image Perception and Participation of Residents (Basmanny District in Central Moscow) 1339

Elizaveta A. Volkova, Juliya E. Nizhegorodtseva, Andrey A. Moroz
Spatial and technological organization of Novosibirsk university campuses. 1355

CONSTRUCTION SYSTEM DESIGN AND LAYOUT PLANNING. CONSTRUCTION MECHANICS. BASES AND FOUNDATIONS, UNDERGROUND STRUCTURES

Ashot G. Tamrazyan, Vladimir I. Chernik
Stiffness of a fire-damaged reinforced concrete column during unloading after high-intensity horizontal impact 1369

Filipp S. Shkoliar, Darya V. Rogozinnikova
Modelling of statically loaded single pile taking into account nonlinearity of foundation soil 1383

CONSTRUCTION MATERIAL ENGINEERING

Vasilij Yu. Chernov, Evgenij S. Sharapov, Elena M. Mal'ceva, Ekaterina N. Pegushina
Effect of thermal modification of wood on adhesion and strength properties of wood-cement composition 1394

HYDRAULICS. GEOTECHNIQUE. HYDROTECHNICAL CONSTRUCTION

Irina M. Markova, Phan Khanh Khanh
Influence of flood control structures on the water level in the downstream of the Saigon – Dong Nai river system 1408

Genrikh V. Orekhov, Mikhail K. Sklyadnev
Experimental stand for physical modelling of flows in the flow path of hydraulic turbines 1422

ENGINEERING SYSTEMS IN CONSTRUCTION

Samvel V. Sarsyan, Valeriy Yu. Kravchuk
Maintenance of microclimate parameters in unheated parts of buildings by overflow air heating 1433

Dmitrii O. Khlopitsyn, Andrey G. Rymarov
Improved recuperator unit with increased efficiency for use in mechanical ventilation systems 1444

Alexey L. Toropov
Application of electric boilers for water apartment heat supply 1451

TECHNOLOGY AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION. ECONOMICS AND MANAGEMENT IN CONSTRUCTION

Marina Yu. Mishlanova, Angelina G. Baranova
Current state and directions of development of project management in road construction 1466

Natalya G. Verstina, Sergey S. Igitkhanyan, Olga F. Tsuverkalova
University property complexes in the conditions of implementation of the Russian Federation state policy in the sphere of higher education. 1477

Requirements for research paper design 1494

ЦЕЛИ, ЗАДАЧИ И ТЕМАТИКА ЖУРНАЛА. РЕДАКЦИОННАЯ ПОЛИТИКА

В научно-техническом журнале «Вестник МГСУ» публикуются научные материалы по проблемам строительной науки и архитектуры (строительство в России и за рубежом: материалы, оборудование, технологии, методики; архитектура: теория, история, проектирование, реставрация; градостроительство).

Тематический охват соответствует научным специальностям:

- 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);
- 2.1.9. 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);
- 2.1.11. Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия (технические науки);
- 2.1.12. Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности (архитектура);
- 2.1.12. Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности (технические науки);
- 2.1.13. Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов (технические науки);
- 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).

По указанным специальностям журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук. К рассмотрению и публикации в основных тематических разделах журнала принимаются аналитические материалы, научные статьи, обзоры, рецензии и отзывы на научные публикации по фундаментальным и прикладным вопросам строительства и архитектуры.

Все поступающие материалы проходят научное рецензирование (одностороннее слепое) с участием редсовета и привлечением внешних экспертов — активно публикующихся авторитетных специалистов по соответствующим предметным областям.

Копии рецензий или мотивированный отказ в публикации предоставляются авторам и в Минобрнауки России (по запросу). Рецензии хранятся в редакции в течение 5 лет.

Редакционная политика журнала базируется на основных положениях действующего российского законодательства в отношении авторского права, плагиата и клеветы, и этических принципах, поддерживаемых международным сообществом ведущих издателей научной периодики и изложенных в рекомендациях Комитета по этике научных публикаций (COPE).

AIMS AND SCOPE. EDITORIAL BOARD POLICY

In the scientific and technical journal “Vestnik MGSU” Monthly Journal on Construction and Architecture are published the scientific materials on construction science and architectural problems (construction in Russia and abroad; materials, equipment, technologies, methods; architecture: theory, history, design, restoration; urban planning).

The subject matter coverage complies with the approved list of scientific specialties:

Analytical materials, scientific articles, surveys, reviews on scientific publications on fundamental and applied problems of construction and architecture are admitted to examination and publication in the main topic sections of the journal.

All the submitted materials undergo scientific reviewing (double blind) with participation of the editorial board and external experts — actively published competent authorities in the corresponding subject areas.

The review copies or substantiated refusals from publication are provided to the authors and the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (upon request). The reviews are deposited in the editorial office for 5 years.

The editorial policy of the journal is based on the main provisions of the existing Russian Legislation concerning copyright, plagiarism and libel, and ethical principles approved by the international community of leading publishers of scientific periodicals and stated in the recommendations of the Committee on Publication Ethics (COPE).

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»

объявляет о возможности подготовки диссертации на соискание ученой степени доктора наук на тему:

«Методология формирования и развития процессов ресурсного обеспечения предприятий территориального инвестиционно-строительного комплекса».

Конкурсный отбор состоится на заседании Научно-технического совета

НИУ МГСУ 17.10.2023 в 14.00.

С порядком проведения конкурсного отбора можно ознакомиться на официальном сайте НИУ МГСУ (mgsu.ru).

АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ И РЕСТАВРАЦИЯ

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 711.4

DOI: 10.22227/1997-0935.2023.9.1339-1354

Преобразование городской среды с учетом восприятия образа и соучастия жителей (Басманный район в центре Москвы)

Дарья Олеговна Бабкина, Олег Игоревич Адамов

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Преемственное развитие исторически сложивших городских структур, формирование зон активности горожан с особым вниманием к образному восприятию и качеству городской среды становятся устойчивым трендом. Цель исследования — на основе изучения и систематизации работ по восприятию горожан и формированию образа города предложить концепцию преобразования городской среды, развития общественных пространств и культурных контекстов.

Материалы и методы. Исследование базируется на изучении и систематизации работ по культурологии, литературоведению, психологии, социологии, архитектуроведению, связанных с восприятием горожан, выявлением образа города и его элементов, составлением ментальных карт. Прослежено параллельное становление объемно-планировочной структуры района и образа городской среды, изменение ее восприятия местными жителями. Проведено интервьюирование и выявлены элементы образа, этапы их появления и постепенного включения в городскую ткань. Научная новизна состоит в том, что, помимо историко-генетического анализа территории, используются компьютерные и Data Base ресурсы. В ходе изучения архивных карт, исторических фотоматериалов (postvu.com) и описаний определены популярные, посещаемые места, составлены тепловые карты частотности появления узнаваемых мест, установлены ареалы визуальной активности.

Результаты. Предложен способ мониторинга состояния городской среды и ее восприятия, отмечены тенденции текущих преобразований. Выявлено, что ареалы визуальной активности, которые в основном группируются вдоль исторически сложившихся пешеходных путей (улицы, площади с хорошо сформированным образом); внутри группы между ареалами устанавливаются устойчивые связи; между группами ареалов, разделенных большими дистанциями, возникают образные разрывы, но устанавливаются корреспонденции, связанные с их смысловым содержанием.

Выводы. Выработана концепция, реализующая принципы и приемы структурирования разрывов и «визуальных пустот», не воспринимаемых людьми, их насыщения элементами образа. Элементы складывающегося образа необходимо доформировывать и фрагментарно восстанавливать. Следует и далее объединять общественные пространства, предлагать поведенческие сценарии, обустройства пешеходные маршруты, способствующие созданию образа города и самоидентификации горожан.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: городская среда, историко-генетический анализ, образ города, ареалы визуальной активности, соучастие жителей, общественная память, городской ландшафт, самоидентификация горожан

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Бабкина Д.О., Адамов О.И. Преобразование городской среды с учетом восприятия образа и соучастия жителей (Басманный район в центре Москвы) // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. Вып. 9. С. 1339–1354. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.9.1339-1354

Автор, ответственный за переписку: Дарья Олеговна Бабкина, dbabkinaru@gmail.com.

Urban Environment Transformation, Taking into Account Image Perception and Participation of Residents (Basmanny District in Central Moscow)

Daria O. Babkina, Oleg I. Adamov

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Successive development of historically established urban structures, formation activity areas of citizens with special attention to the image perception and quality of urban environment are becoming a steady trend. The research purpose is to propose a concept for the urban environment transformation, development of public spaces and cultural contexts based on study and systematization of works on citizens' perception and city image formation.

Materials and methods. The research is based on the examination and systematization of works in culture, literature, psychology, sociology, architecture studies devoted to the perception of citizens, identifying city image and its elements, and mental maps making. The parallel formation the district volumetric-planning structure and urban environment image perceived by local residents is also traced. Interviewing was conducted and image elements appearance, stages of their development and gradual incorporation into the urban tissue were identified. Scientific novelty is that in addition to the territory historical and genetic analysis, the computer and Data-Base resources were involved to reach the objectives. Basing on archival maps, historical photographic material (postvu.com) and descriptions examination, popular and visited places are identified; heat maps of the frequency of recognizable places occurrence are drawn up and the areas of visual activity are defined.

Results. A way of monitoring the existence of urban environment and perception is proposed, and trends of ongoing transformations are identified. It is defined that the areas of visual activity are mainly grouped along historically formed pedestrian routes (streets, squares with well-formed image); within the group, stable connections are established between the areas; between groups of areas separated by large distances, there are image gaps, but correspondences related to their semantic content are also established.

Conclusions. A concept developed in the work is implementing the principles and techniques of structuring gaps and "visual voids" not perceived by people in order to saturate them with imaginative elements. The elements composing the image need to be completed and fragmentarily restore. Public spaces should be united, behavioral scenarios should be arranged and pedestrian routes should be organized, promoting the city image creation and the self-identification of citizens.

KEYWORDS: urban environment, historical and genetic analysis, city image, areas of visual activity, participation of residents, public memory, urban landscape, self-identification of citizens

FOR CITATION: Babkina D.O., Adamov O.I. Urban Environment Transformation, Taking into Account Image Perception and Participation of Residents (Basmanny District in Central Moscow). *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2023; 18(9):1339-1354. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.9.1339-1354 (rus.).

Corresponding author: Daria O. Babkina, dbabkinaru@gmail.com.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в отечественной практике проектирования и строительства наметился переход к градостроительству «с человеческим лицом». Он предполагает формирование комфортной городской среды с учетом ее потребительских качеств, анализа образа города, возникающего у жителей. Наряду с этим, появляются новые способы обработки визуальной информации с использованием современных средств и Data-Base ресурсов.

При проведении градостроительных преобразований проектировщики и городские власти сталкиваются с необходимостью решать судьбу исторически сложившихся территорий. При этом не всегда принимается во внимание образ места и мнение жителей о своем окружении, которые складывались в течение длительного времени. Поэтому возникает необходимость учитывать историю формирования городов и отдельных площадей, улиц и кварталов, а также стремиться к поддержанию непрерывного во времени восприятия образа места, который сохранялся бы и получал свое естественное продолжение в предлагаемых проектных решениях.

Развитие городской среды исторической части города в Москве в современных условиях нередко отмечено активной застройкой многоэтажными жилыми домами, которые соседствуют с историческими кварталами, порой включаются в них. Городская среда Басманного района в историческом центре Москвы представляет собой одну из показательных, проблемных ситуаций, где наблюдаются значительные объемы реконструкции и нового строительства. Район имеет свои особенности становления: на его территории наблюдается историческое наложение планировочных структур различных временных пе-

риодов, которые сегодня неразрывно взаимосвязаны и продолжают совместно развиваться.

Деятельность по сохранению, преемственному развитию существующих объемно-планировочных структур, формированию новых фрагментов организованной и осмысленной городской среды сегодня предполагает учет и адаптацию к современным запросам горожан, качеству их жизни, включающему понятию образного восприятия городской среды. Отсюда актуальность темы связана с необходимостью преобразования сложившейся городской среды на базе, с одной стороны, историко-генетического анализа ее формирования и с учетом выдвигаемых приоритетов развития, с другой, с выявлением самого способа ее «прочтения» жителями, специфики их образного восприятия, особого образного строя и ожиданий встречи с городскими контекстами, искомыми средовыми «картинами», возникающими по мере осуществления повседневной деятельности и перемещений в городе.

Цель исследования — на основе изучения и систематизации работ, посвященных восприятию горожан и формированию образа города и его элементов, используя современные методы анализа городской среды, предложить концепцию преобразования городской среды, развития общественных пространств и культурных контекстов (на примере Басманного района Москвы).

На основе изучения работ современных исследователей города по культурологии, литературоведению, психологии, социологии, архитектуроведению, посвященных восприятию, анализу образа города с позиции горожан, в которых предприняты попытки выявления отдельных элементов, составляющих образ, качеств городской среды, культурных контекстов

и поведенческих моделей горожан в связи с окружающей средой, было выявлено следующее:

К. Линч ввел в обиход градостроителей «человеческое» измерение и говорил о значимости коллективного восприятия города и его образа, имеющего свои характеристики. В американских городах были проведены опросы горожан и составлены ментальные карты, что позволило выделить следующие устойчивые элементы образного восприятия: пути, границы, районы, узлы и ориентиры. К. Линч выделил качества городской среды: отдельность, простота, непрерывность, доминанта, ясность соединения, различие направлений, поле видения, осознание движения, временные серии, названия и значения [1, 2]. Применимость образного инструментария К. Линча к анализу сегодняшней городской среды разбирает О.А. Кольстет [3]; из работ Линча выводит принципы своей городской антропологии С.А. Смирнов [4].

К. Александер, обобщая коллективные представления, предложил и разработал «язык паттернов» — граматизированные структуры из устойчивых элементов, составляющих образ конкретного места, образующих ситуации в городской среде, которые могут быть воспроизведены при ее проектировании. Паттерны он относил к разным масштабам и уровням восприятия, они имеют свою иерархию. К. Александер ввел эмерджентный подход в организацию городской среды, из которого вытекает идея саморазвития городской среды при соучастии горожан и самовоспроизводства (аутопойесис) в градостроительстве [5]. Т.Ю. Быстрова [6], А.Е. Гашенко [7] сегодня продолжают разрабатывать теорию паттернов городской среды в семиотическом аспекте.

Из описаний П. Бурдьё следует, что в социальных сообществах, проживающих на территории, формируются «габитусы» — устойчивые структуры, включающие представления о мире, поведенческие модели, уклад жизни, обычаи, привычки, жизненные циклы, традиционные маршруты, также значимым становится обустройство среды жизнедеятельности, организация мест, местностей, поселений, домов, предметов быта [8].

В культурологических, психологических, философских и литературоведческих произведениях Дж. Джойса (разбор воображаемых контекстов и аллюзий в романе «Улисс», проведенный С.С. Хоружим) [9], Ж. Делёза и Ф. Гваттари (анализ контекстов и языков в романах Ф. Кафки) [10], В.Н. Топорова [11] и Ю.М. Лотмана [12] выявлены индивидуальные и коллективные способы восприятия городской среды, представлено описание системы мест, воспринимаемых по ходу развития некоего пространственного сценария (фабулы) повествования. В.Н. Топоров [11] и Ю.М. Лотман [13–15] проводят сопоставление пространственных структур двух российских столиц — Москвы и Санкт-Петербурга — и выявляют исторические особенности организации их планов и принятых способов перемещения и вос-

приятия. В свою очередь, работы Ю.М. Лотмана, связанные с определением границ семантических ареалов и интеллигибельных пространственных инвариантов среды, стали предметом последующих исследований [16, 17].

В настоящее время образными характеристиками среды, культурными контекстами и подходами к предметному развитию территорий, с учетом объектов культурного наследия занимаются: Н.Г. Благовинова и Е.Г. Прохорская [18, 19], А.В. Степанчук [20], М.С. Лапыгова [21], С.В. Пирогов [22, 23], М.В. Дуцев [24], Н. Chang [25], J. Davison и E. Giovannoni [26]. В трудах А.Р. Зиятдинова, И.А. Фахрутдинова [27] и И.А. Добрицыной [28] затрагиваются подходы к проектированию соседских пространств, техники партисипации жителей и тенденции к самовоспроизводству (аутопойесис) в современном градостроительстве. Новые способы прочтения, кодирования и интерпретации визуальной информации представлены в исследованиях зарубежных авторов, в которых описаны методики работы с архивными фотоматериалами и данными Big-Data [29–32].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование базируется на изучении и систематизации научных работ по культурологии и литературоведению, психологии, социологии, архитектуроведению, связанных с восприятием горожан, выявлением образа города и его элементов, составлением ментальных карт. Прослежено параллельное становление объемно-планировочной структуры района и образа городской среды, изменения ее восприятия местными жителями. Проведено интервьюирование и выявлены элементы образа, этапы их появления, развития и постепенного включения в городскую ткань. Научная новизна исследования связана с тем, что, помимо натурного обследования и историко-генетического анализа Басманного района, к анализу привлечены компьютерные и Data Base ресурсы. В ходе изучения архивных карт, исторических фотоматериалов¹ (postvu.com) и описаний определены наиболее посещаемые и популярные места, составлены тепловые карты частотности появления на них узнаваемых мест, установлены ареалы визуальной активности посетителей.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При принятии градостроительных решений в исторически сформированной застройке необходимо учитывать визуальные связи, сложившиеся в результате постепенного развития структуры города. На основе анализа становления городской застройки Басманного района, его планировочной структуры и формирования городской среды были выявлены историко-градостроительные особенно-

¹ Retro View of Mankind's Habitat. URL: <https://pastvu.com>

сти территории. Определено, что территория получила свое основное развитие в период с середины XIX в., отсюда, образ современной городской среды складывался в течение длительного периода, на протяжении 200 лет. В ходе ретроспективного анализа были сопоставлены исторические карты территории района и выявлено, что основная планировочная структура в виде улиц, площадей, кварталов, сформировалась к середине XVIII в., но отдельные изменения продолжают и по сей день. Отмечено, что территорию Басманного района можно условно разделить на 3 части, обладающими историческими, планировочными и смысловыми особенностями: западную; центральную и восточную.

В западной части (от Лубянского проезда до Садового кольца) зафиксировано сосредоточение значительного количества объектов культурного наследия (ОКН), что предполагает мероприятия по их консервации, научной реставрации, восстановлению и приспособлению. Для территории в целом применим градостроительный режим реконструкции. Данные мероприятия позволят сохранить «дух» исторического места и создать образ района, относящегося к московской центральной периферии.

Для центральной части характерно, что, несмотря на общее снижение числа ОКН, обнаруживаются целые ансамбли исторической застройки (городские усадьбы), значительная часть ОКН включена в структуру исторических улиц (Старая Басманная). В качестве доминант в застройке выделяются соборы (Церковь Никиты Великомученика, Богоявленский собор), в этой части применимы смешанные режимы, связанные как с сохранением и реставрацией памятников, так и с реконструкцией, ревитализацией и редевелопментом застройки.

В восточной части (от Третьего транспортного кольца до ул. Гастелло) ОКН представлены в застройке точно. Выделяются храмы (Храм Ирины Великомученицы, Покровская старообрядческая церковь, Покровская церковь, Никольская церковь). Здесь сформировались улицы средовой городской застройки конца XIX – начала XX вв., появился квартал рационализма «Буденовский поселок». Наличие бывшей промышленной застройки (Пуговичной фабрики) предполагает изменение функционального назначения, проведение градостроительных мероприятий по джентрификации.

В работе проведен анализ становления транспортно-пешеходных связей на территории в период с 1739 г. по настоящее время (Рис. 1 а–д). По описаниям, архивным фотографиям были составлены карты-схемы, показывающие формирование транспортно-пешеходной сети на территории района. Намеченные основные пешеходные связи позволяют определить традиционные маршруты горожан, складывавшиеся в разные периоды. На представленных картах-схемах можно проследить поэтапное создание общественных пространств. Например,

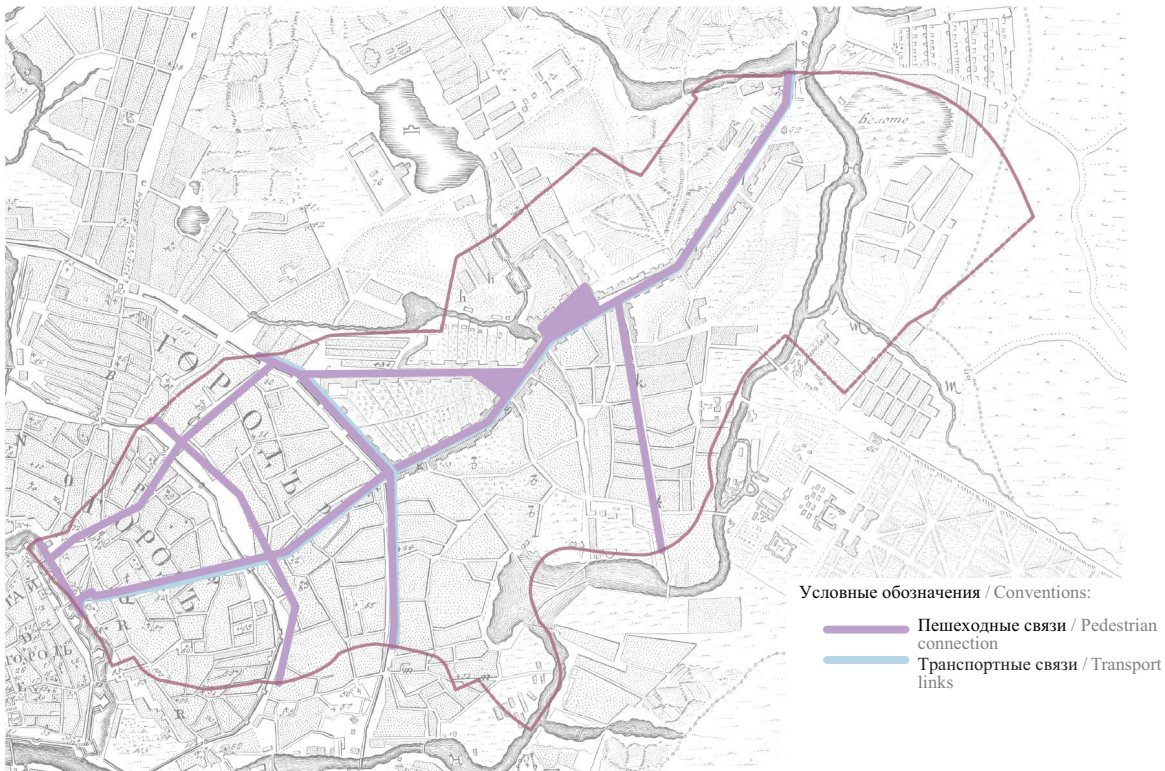
на картах-схемах 1739 и 1860 гг. выявлено развитие площадей Разгуляй и Елоховская вдоль торговых путей, а также основных улиц: Старая Басманная и Спартаковская. Со строительством Курского вокзала и появлением станций метро возле них начинают активно формироваться центры общественной активности. Исторические площади Разгуляй и Елоховская частично утрачивают свою форму и былое значение. На современной карте-схеме 2022 г. они уже не выделяются так явно и становятся своего рода «отпечатками» прошлого в городской среде, воспринимаются скорее как некая память об известном месте, нежели общественное пространство с активной деятельностью. Наибольшее скопление посетителей наблюдается у станций метро, особенно — Бауманская, имеющей один выход.

Вместе с тем возле метро фактически отсутствуют полноценные распределяющие общественные пространства. Отмечается пересечение потоков пешеходов и транспорта и непосредственное примыкание к станции жилых домов и дворов, тяготеющих к замкнутости своей жизни. Дворовые и общественные пространства пребывают в недоформированном статусе.

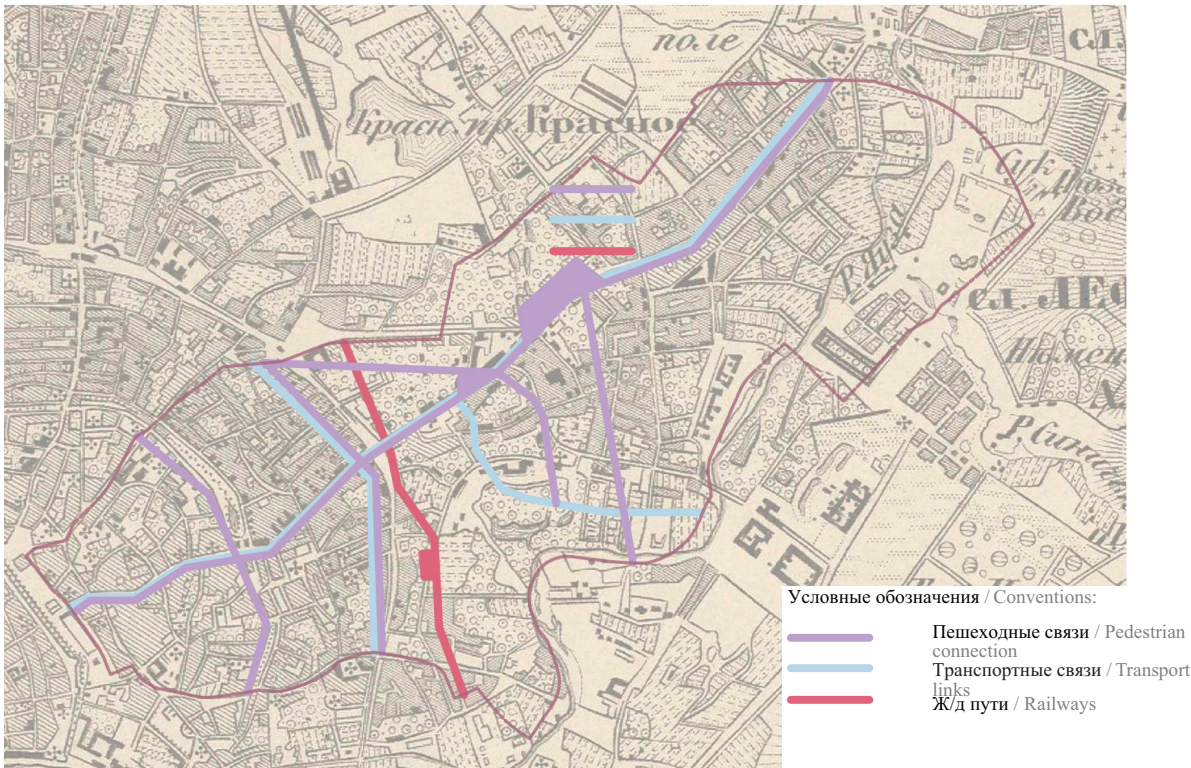
Важно заметить, что на карте-схеме 2022 г. отсутствует какой-либо сформированный пешеходный маршрут, способный дублировать ул. Бакунинскую, играющую эту роль и перегруженную транспортом, чтобы связать две станции метро — Бауманскую и Электрозаводскую — единой комфортной пешеходной связью.

Опираясь на подход К. Линча, на исследуемой территории были выделены основные элементы городской среды: ориентиры, пути, границы, районы и узлы. Они нанесены на подоснову, составлены ментальные карты города. Представленные схемы иллюстрируют разрабатываемый нами исследовательский подход, который направлен на реконструкцию пространственных представлений горожан о Басманном районе в исторической перспективе, а также развитие образа района, начиная с 1739 г. и по настоящее время (Рис. 2 а–д).

Выявлено, что доминантами (ориентирами) района, как правило, являются церкви, храмы и ОКН. Среди них прежде выделялись: Кафедральный собор Богоявления Господня, Церковь Космы и Дамиана, Церковь Воскресения Словущего в Барашах, Церковь Никиты Великомученика. В 1950-е гг. в связи с осуществлением концепции «сталинской утопии» (по А.В. Бокову) [33] и реализацией отдельных положений Генплана Москвы 1935 г. на участке, непосредственно примыкающем к району, была возведена одна из запланированных «высоток» — жилой дом на Лермонтовской площади у м. Красные ворота. Начиная с 1960-х гг. осуществлялось высотное строительство, которое существенно нарушило и нивелировало сложившуюся сеть высотных ориентиров — Церковь Космы и Дамиана на ул. Маросейка, формируется более сложная и неоднозначная

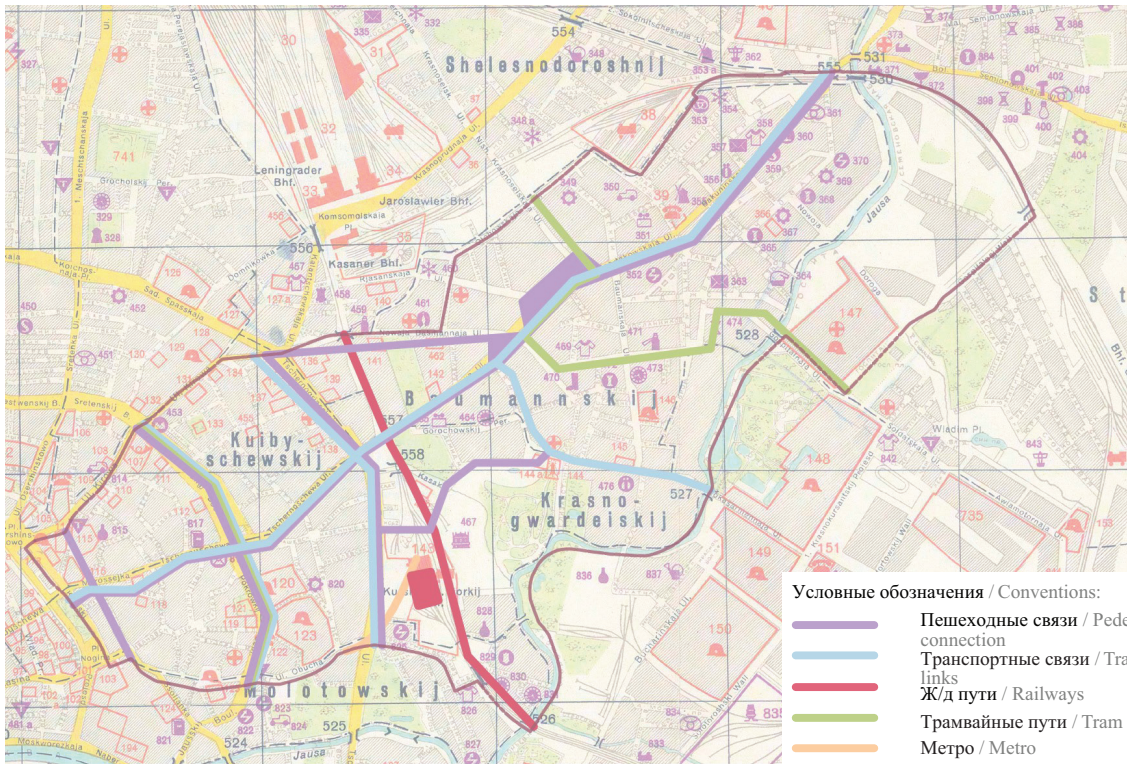


a

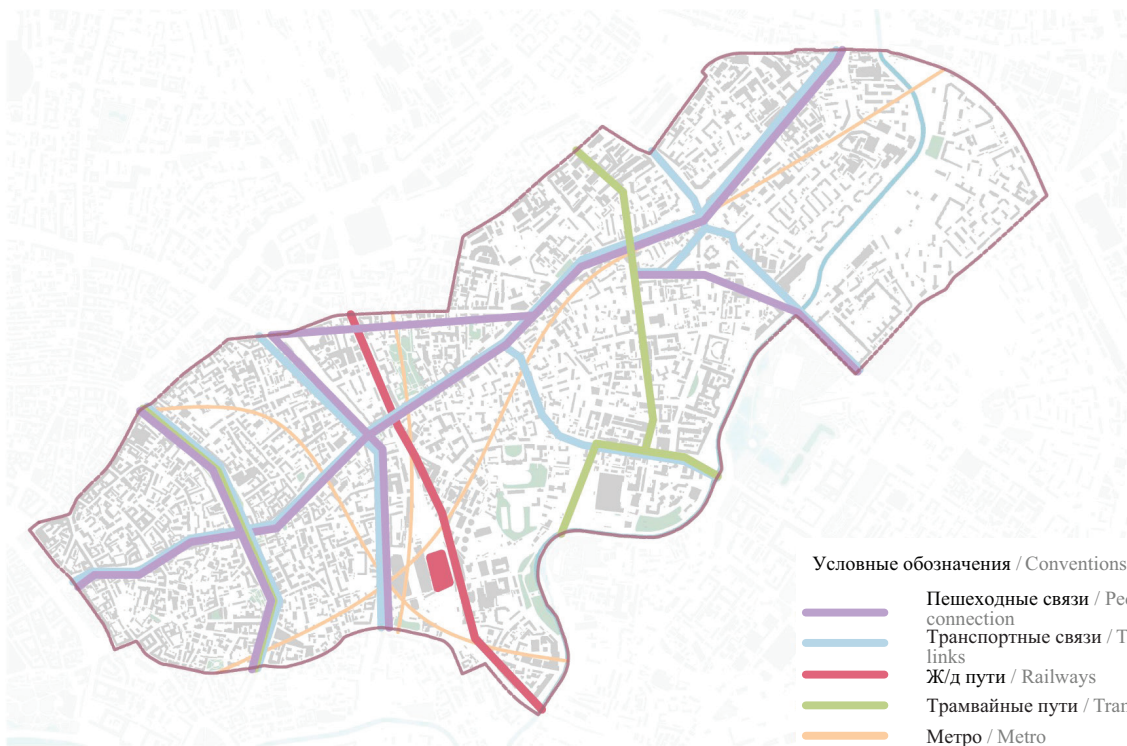


b

Рис. 1. Карта-схема пешеходно-транспортных связей: а — 1739 г.; б — 1860 г.; в — 1941 г.; д — 2022 г.
Fig. 1. Map-scheme of pedestrian and transport links in the: а — 1739s; б — 1860s; в — 1941s; д — 2022s

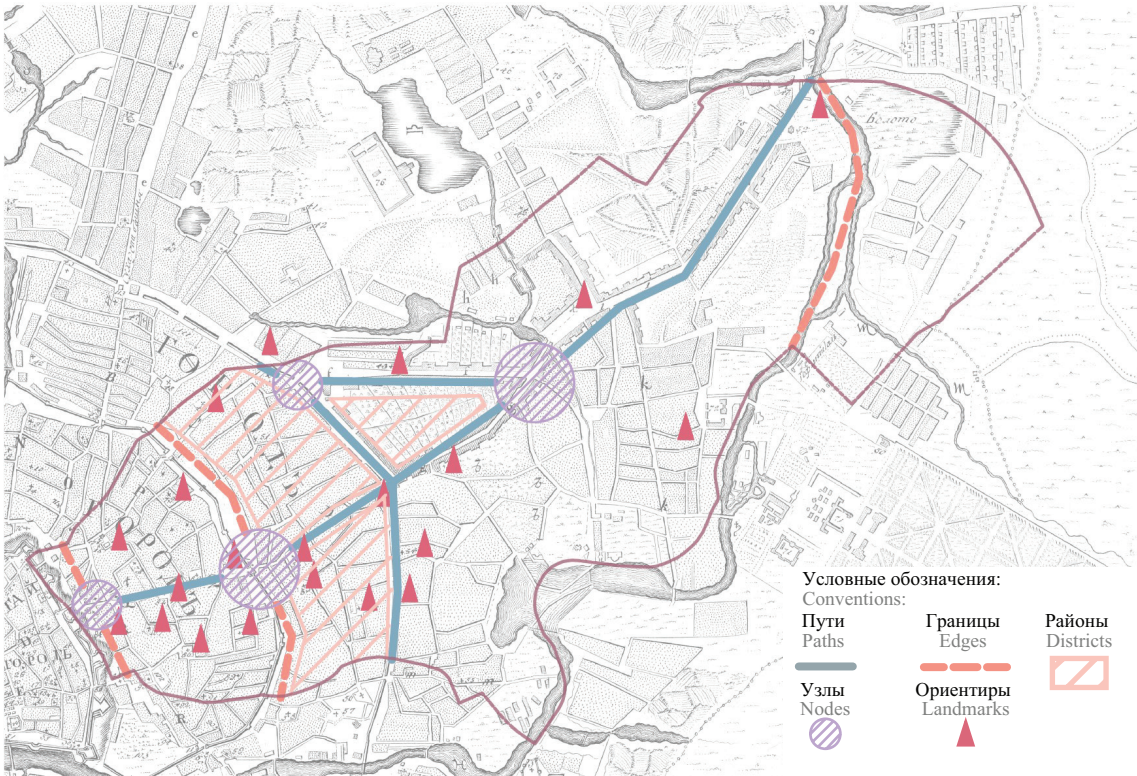


c

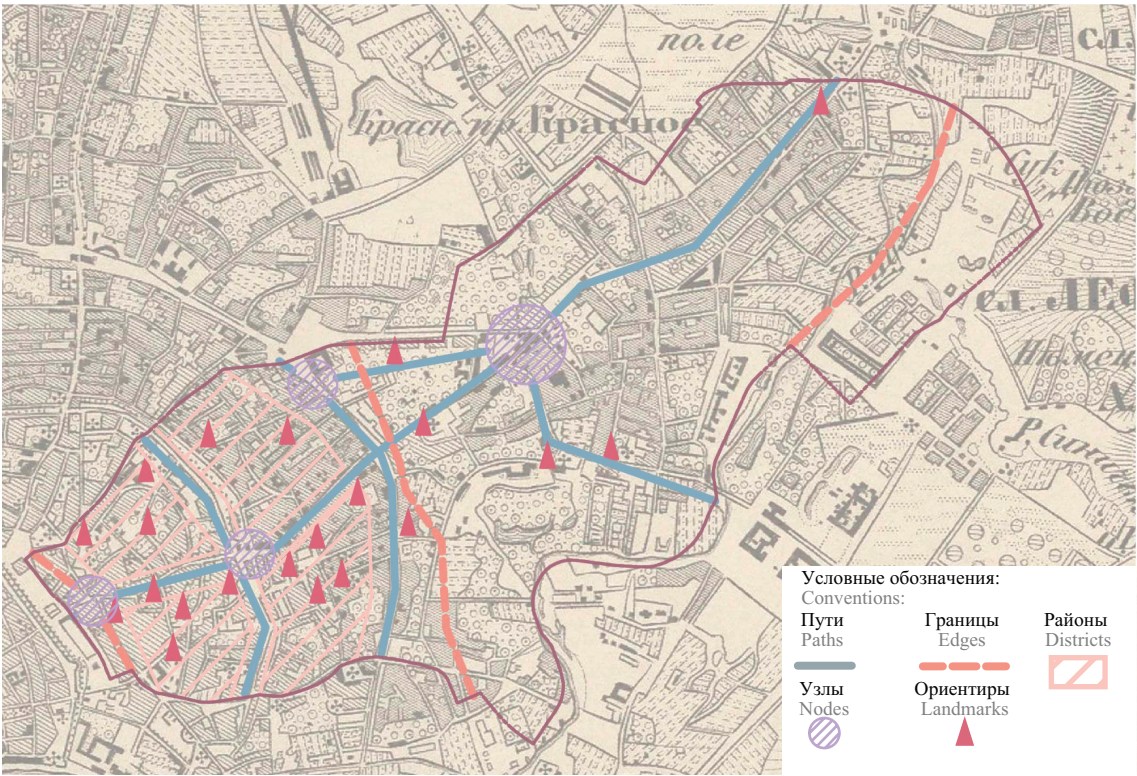


d

Рис. 1. Карта-схема пешеходно-транспортных связей: а — 1739 г.; б — 1860 г.; в — 1941 г.; д — 2022 г. (окончание)
Fig. 1. Map-scheme of pedestrian and transport links in the: а — 1739s; б — 1860s; в — 1941s; д — 2022s (ending)



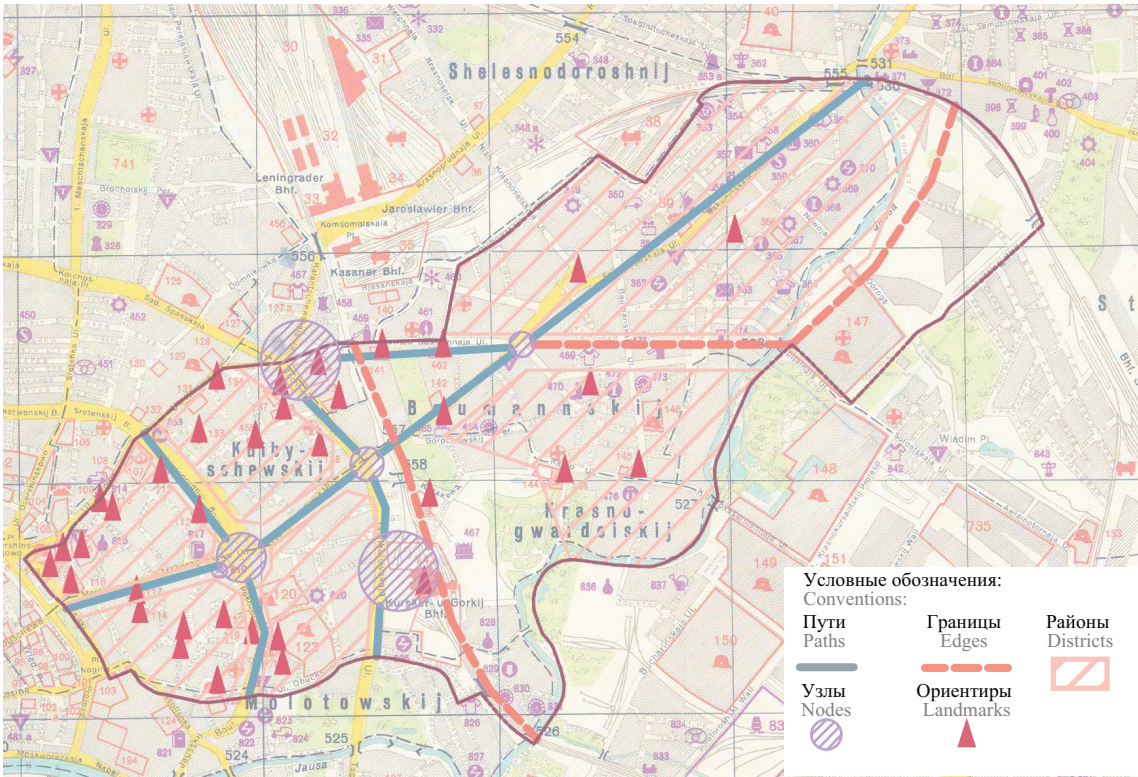
a



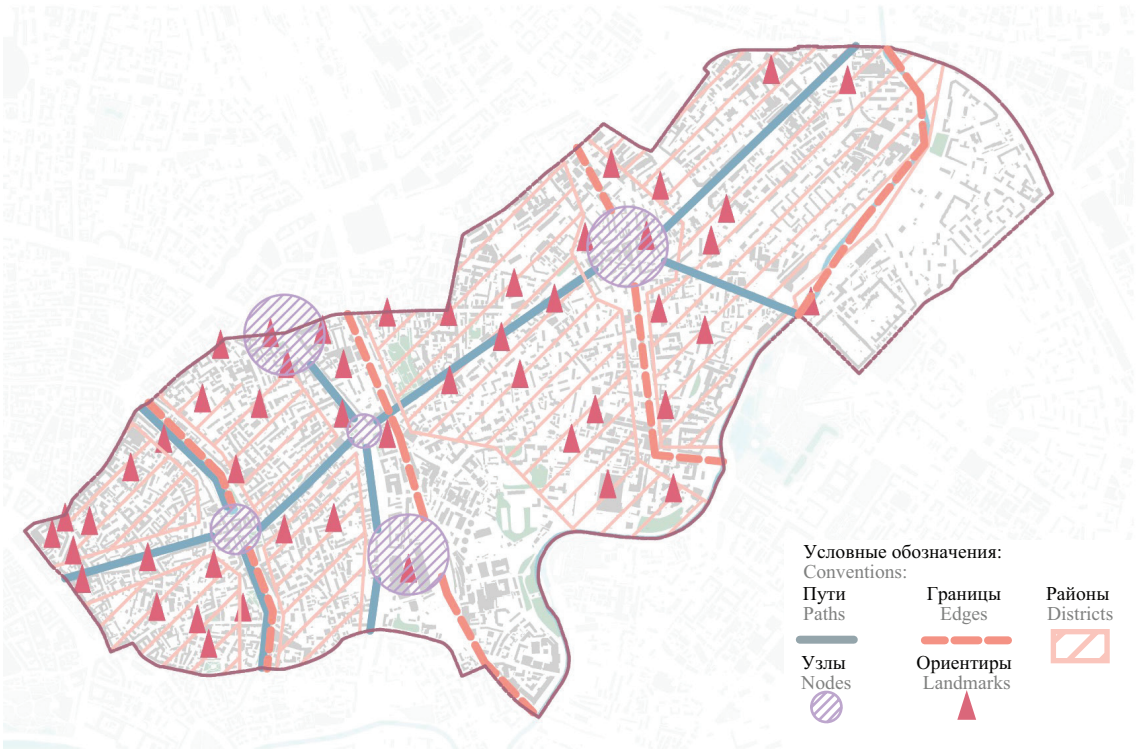
b

Рис. 2. Карта-схема элементов образа города: a — 1739 г.; b — 1860 г.; c — 1941 г.; d — 2022 г.

Fig. 2. Map-scheme of elements of the image of the city in the: a — 1739s; b — 1860s; c — 1941s; d — 2022s



c



d

Рис. 2. Карта-схема элементов образа города: *a* — 1739 г.; *b* — 1860 г.; *c* — 1941 г.; *d* — 2022 г. (окончание)
Fig. 2. Map-scheme of elements of the image of the city in the: *a* — 1739s; *b* — 1860s; *c* — 1941s; *d* — 2022s (ending)

по восприятию система ориентирования и движения от одного ориентира к другому. Были снесены или частично разрушены прежние ориентиры: Церковь Успения Пресвятой Богородицы и Воскресенская церковь на Покровке. Небольшие площади, прежде расположенные на пересечении торговых улиц, стали узлами городской структуры с небольшими, но многолюдными пространствами — около Курского вокзала и станции м. Бауманская.

Расположение основных путей имеет историческое обоснование: архитектура вдоль них формировалась на протяжении длительного времени при постепенном освоении территории. Сегодня горожане в основном положительно оценивают их историческую и архитектурную привлекательность. Районы (которые представляют себе жители) не всегда имеют четкие контуры, это происходит из-за смешения жилых, общественных и бывших производственных зон, но здесь присутствуют и оказывают влияние как естественные, так и искусственные разделения — границы в виде р. Яуза, железнодорожных путей Курского направления МЖД, многочисленных транспортных магистралей.

Исследование предполагало проведение специального анализа на основе архивных фото с сайта pastvu.com², на котором горожане фиксировали популярные места своего времени. Количество представленных видов (частотность упоминания), на наш взгляд, позволяет выявить наиболее посещаемые места и узнаваемые виды с точки зрения посетителей и тем самым провести процедуру объективации их восприятия. Выделенные точки съемки были нанесены на современную подоснову, предложен прием «геокодирования». На основе частотности упоминания представленных видов были предложены «тепловые карты» наиболее популярных ареалов в различные исторические и временные периоды. В итоге были составлены карты-схемы и теплокарты самых фотографируемых мест на территории Басманный района, в период с 1860 по 2000 гг., на которых наиболее популярные места-ареалы выделены более интенсивным цветом (Рис. 3 а–д).

Сопоставление карт-схем (теплокарт) позволяет проследить активизацию отдельных ареалов визуальной активности и их объединение в группы (последовательности); они, как правило, совпадают с исторически сложившимися улицами, хорошо сформированными площадями. Вместе с тем сопоставление карт-схем (теплокарт) позволяет выявить места, где значительно уменьшается количество фотофиксаций (активностей) или отмечается утрата значимости отдельных ареалов визуальной активности в определенные исторические периоды. Подобные рефлексии дают возможность не только проследить динамику изменения образных характеристик, но и предвосхитить видоизменения зон визуальной активности в ре-

зультате предлагаемых архитектурно-планировочных преобразований, направленных на доформирование общественных пространств и их фрагментарное восстановление, а также насыщение узнаваемыми образами (элементами образа).

В ходе проведенного социологического исследования образного восприятия городской среды горожанами в Басманном районе выявлен повышенный интерес горожан к соучастию в мероприятиях, направленных на изменение городской среды, в том числе способных существенно повлиять на ее визуальное восприятие. Выяснилось, что и профессионалы, и жители в равной степени интересуются вопросами городской среды в районе, что говорит об общественной значимости исследуемой темы. Также были определены и нанесены на карту-схему традиционные маршруты горожан, которые в основном проходят по улицам: Старая Басманная, Ладожская, Бакунинская, Покровка, Казакова, Большая Почтовая и Рубцовская набережная [34].

При выявлении особенностей образного восприятия городской среды Басманный район установлен, что:

1. Мы имеем дело с крайне разнообразной тканью исследуемого района, которая частично нарушена или недоформирована, отсутствует целостное восприятие района, проектирование и застройка сегодня ведутся отдельными фрагментами.

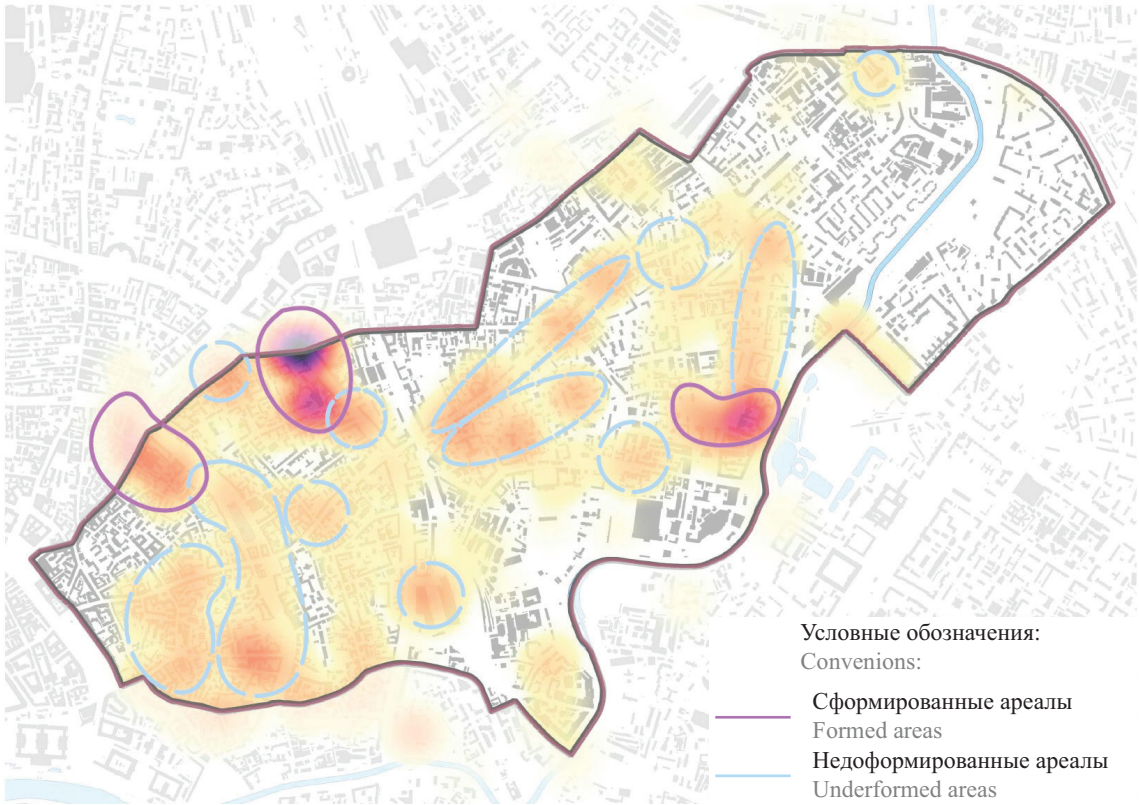
2. При сопоставлении карт-схем (теплокарт) возможно проследить, как складывались отдельные ареалы визуальной активности и объединялись в группы (последовательности); выяснилось, что они совпадают с исторически сложившимися улицами, хорошо сформированными площадями. Фактически устанавливаются стабильные корреспонденции между пространствами (различного вида), их физическими ограничениями и визуальным содержанием (элементы образа).

3. При формировании дополнительных пешеходных связей (пешеходных улиц) необходимо учитывать исторические предпосылки их формирования, существующую интенсивность пешеходных потоков, а кроме того, градостроительные раскрытия и визуальные коридоры, включающие ОКН, отдельные визуальные ареалы и общественные пространства.

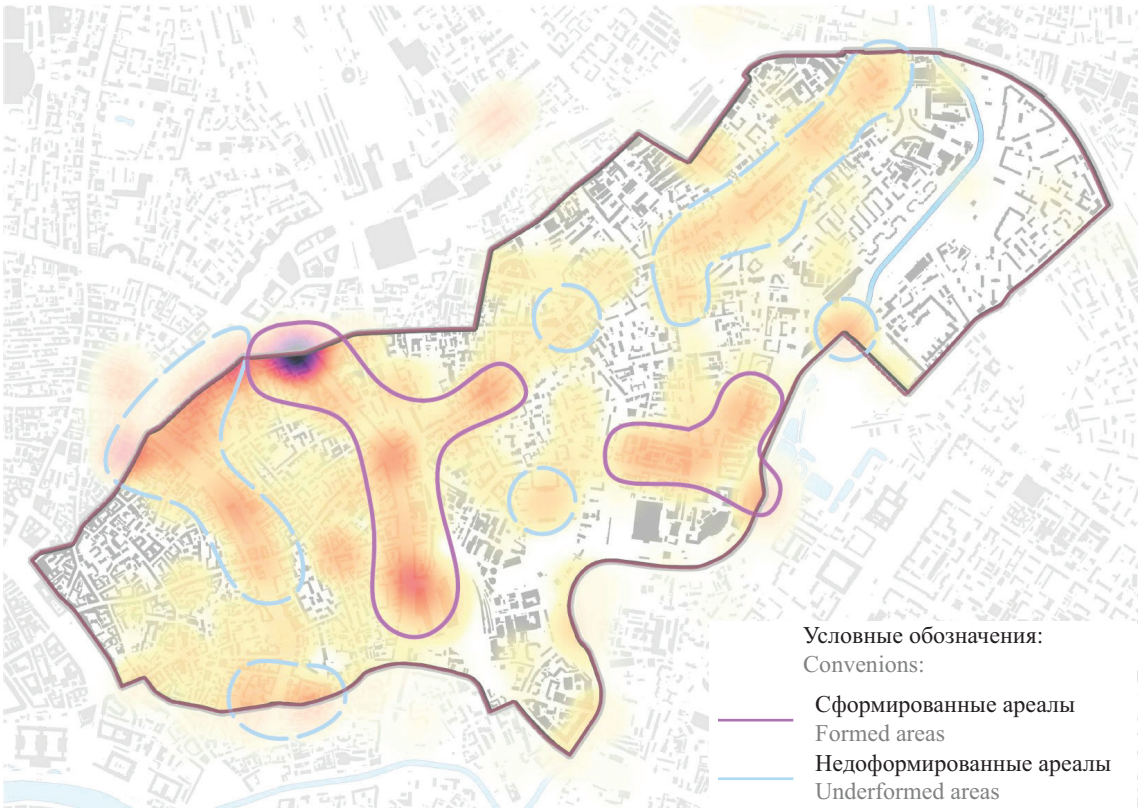
ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Настоящее исследование основывалось на описаниях современных исследователей города и образного восприятия городской среды его жителями, на идеях и практиках зарубежного и отечественного градостроительства, а также принимало во внимание историко-генетические особенности формирования территории района. В результате были предложены принципы и приемы регенерации и преобразования архитектурно-планировочной структуры с учетом формирования ареалов визуальной активности и создания единого образа района (Рис. 4 а–б).

² Retro View of Mankind's Habitat. URL: <http://pastvu.com>

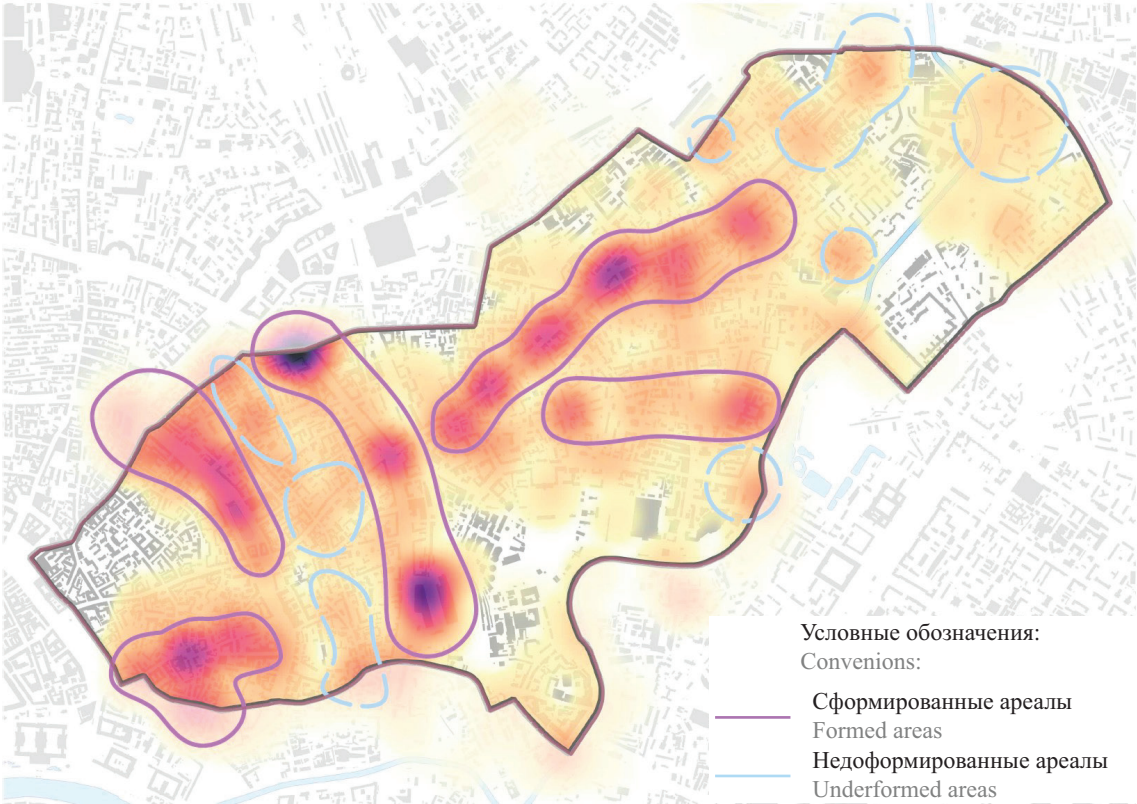


a

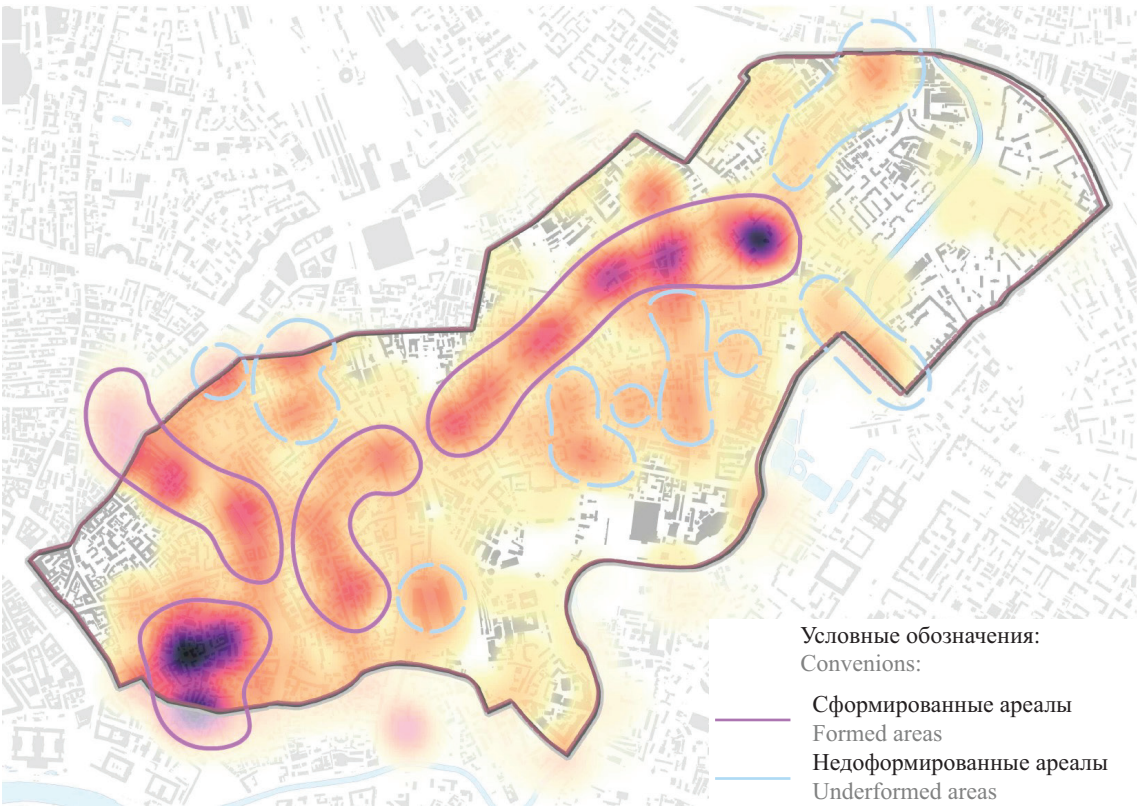


b

Рис. 3. Карта-схема ареалов визуальной активности: *a* — до 1917 г.; *b* — 1918–1941 гг.; *c* — 1942–1980 гг.; *d* — 1981–2000 гг.
Fig. 3. Map-scheme of areas of visual activity in the: *a* — 1917s; *b* — 1918s–1941s; *c* — 1942s–1980s; *d* — 1981s–2000s



c



d

Рис. 3. Карта-схема ареалов визуальной активности: *a* — до 1917 г.; *b* — 1918–1941 гг.; *c* — 1942–1980 гг.; *d* — 1981–2000 гг. (окончание)

Fig. 3. Map-scheme of areas of visual activity in the: *a* — 1917s; *b* — 1918s–1941s; *c* — 1942s–1980s; *d* — 1981s–2000s (ending)

Проведено комплексное проектирование и разработаны пространственные модели — «картины» городской среды, макетирование, компьютерное моделирование с акцентом на образные характеристики общественных пространств и городской среды, сопряженных с историко-культурным наследием.

В исследовании выдвинуты принципы, на основе которых разработана концепция по преобразованию городской среды в районе, учитывающая восприятие ее образа и возможное соучастие жителей:

- историческая связность — необходимо выстраивать связи и находить корреспонденции между застройкой разных периодов, продолжая естественный генезис городских структур;

- сомасштабность — появляющиеся и реконструируемые архитектурные объекты и городские пространства должны соответствовать (по своим размерам и масштабу членений) исторически сложившимся в застройке района;

- устойчивость — преобразование реконструируемого окружения должно отвечать принципам устойчивого развития, которое плавно переводит городскую среду из существующего в искомое и благоприятное состояние при поддержании среды и в продолжение естественного генезиса города;

- многофункциональность и разнообразие среды — требуется привнесение дополнительных функций, повышение количества разнообразных по своему содержанию объектов, расположенных в зданиях и в общественных пространствах;

- визуальная целостность — выделение ареалов визуальной активности, продолжение и связывание их в целостную систему визуальных объектов, ориентиров и пространств на территории, организованных и согласованных в образном отношении;

- самоидентификация жителей — формирование у жителей чувства места, границ «своего» района, ощущения осмысленного существования в определенном ареале, сопричастности его жизни и происходящим в нем событиям;

- соучастия жителей в проектировании — проектирование ведется на основе опросов жителей и совместных проектных разработок, проводятся общественные слушания, осуществляется текущий мониторинг изменений, происходящих в восприятии жителями образа своего района по ходу проводимых реконструктивных мероприятий;

- поддержание естественного генезиса городских территорий — проведение реконструктивных мероприятий, направленных на поддержание тенденции предыдущего исторического развития зданий, застройки, городских структур и пространств.

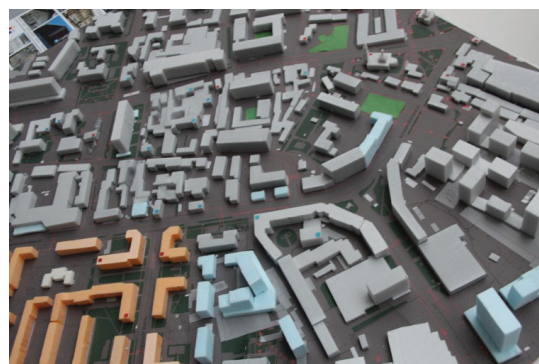
Были опробованы реконструктивные приемы:

- поддержание (восстановление и воссоздание) визуальной целостности исторически сложившейся планировочной структуры;

- преемственное развитие территории (взаимосвязь старой застройки и новых объектов);



a



b

Рис. 4. Фотография с макета: *a* — Буденовский поселок; *b* — ул. Большая Почтовая

Fig. 4. Photography of the model: *a* — Budenovskiy settlement; *b* — Bolshaya Pochtovaya st.

- проведение комплексной реконструкции на территории (развитие территории происходит в различных аспектах: транспорт, реконструкция застройки, инженерная инфраструктура, организация движения пешеходов, озеленение и др.);

- формирование (восстановление и дальнейшее развитие) системы образных элементов: ориентиров, узлов, границ, районов и путей;

- сохранение (восстановление, научная реставрация) и преемственное развитие отдельных ценных исторических объектов (ОКН) и градостроительных ансамблей;

- реновация жилых кварталов с созданием дворовых пространств, выносом пристроек к существующим зданиям, формированием фронта улицы и отделением их от улиц и площадей (коммуникационных и общественных пространств);

- создание рекреационных и накопительных пространств: площадок, скверов, торговых пассажей, рассматриваемых совместно с системой организации пешеходных путей и системой навигации;

- функциональное насыщение и уплотнение на территории (вертикальное зонирование зданий, постепенное формирование многофункциональных зон и комплексов);

- формирование элементов комфортной визуальной среды (размещение элементов благоустройства и информации) вдоль основных путей на территории.

На основе предложенных принципов и приемов реконструкции, регенерации и преобразования архитектурно-планировочной структуры Басманного района г. Москвы с учетом визуального восприятия жителей, формирования ареалов визуальной активности и создания единого образа района предложена концепция преобразования городской среды с разработкой адаптивных поведенческих сценариев и пешеходных маршрутов.

Предложены меры по развитию фрагментов городской среды и мероприятия, которые позволили бы доформировать (сохранить, воссоздать) образ Басманного района:

- частичное воссоздание и благоустройство исторически сложившихся пешеходных улиц, площадей, скверов, выделяемых и наиболее посещаемых жителями;
- воссоздание и сохранение ОКН и исторических памятных мест (Церковь Успения Пресвятой Богородицы на Покровке);
- воссоздание утраченных мест и их активизация: площадей, скверов, улиц (Разгуляй);
- восстановление традиционных маршрутов, которые могли бы связать выявленные центры активности населения (вдоль улиц Старая Басманная и Покровка);
- размещение дополнительных ориентиров (исторического типа), которые позволили бы доформировать группы «визуальных ареалов» района, связать их в единую систему;
- создание активной пешеходной зоны (со снижением интенсивности транспортного движения) на исторически сложившихся улицах (например, вдоль ул. Покровка);
- формирование дублирующего пешеходного маршрута (параллельно ул. Бакуниной) по Большой Почтовой ул., который позволил бы соединить проход от станции м. Бауманская до станции м. Электrozаводская;
- восстановление исторического плана Буденовского поселка (рационализм) и создание на территории квартала современного студенческого кампуса;

- рассмотрение мероприятий по заглоблению транзитного транспорта, проходящего вдоль набережной р. Яуза (по обоим берегам) в подземное пространство, с последующим формированием рекреационной зоны для жителей района и доступом к воде;

- нахождение «тонких» настроек для реконструкции разновременной застройки и предложение набора «режимов вмешательства» в городскую «ткань», способного обеспечить ее дальнейшее преемственное развитие;

- создание единой визуально благоприятной и считываемой горожанами городской среды, которая включала бы в себя все элементы образа города, учитывала их традиционные маршруты и поведенческие модели.

Таким образом, на основе методов, используемых в работе, были выявлены принципы, приемы и мероприятия, которые могут быть применены при разработке концепции преобразования городской среды Басманного района в ЦАО Москвы и формирования общественных пространств и культурных контекстов.

Предложен способ мониторинга состояния городской среды и ее восприятия, отмечены тенденции текущих преобразований. Выявлено, что ареалы визуальной активности в основном группируются вдоль исторически сложившихся пешеходных путей (улицы, площади с хорошо сформированным образом); внутри группы между ареалами устанавливаются устойчивые связи; между группами ареалов, разделенных большими дистанциями, возникают образные разрывы, но устанавливаются корреспонденции, связанные с их смысловым содержанием.

Разработана концепция, реализующая принципы и приемы структурирования разрывов и «визуальных пустот», не воспринимаемых людьми, их насыщения образными элементами. При проведении реконструкции необходимо доформировывать и фрагментарно восстанавливать элементы складывающегося образа. Следует и далее объединять общественные пространства, предлагать поведенческие сценарии, устраивать пешеходные маршруты, способствующие созданию образа города и самоидентификации горожан.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Lynch K. A Theory of Good City Form. Cambridge : The MIT Press, 1981. 524 p.
2. Линч К. Образ города / пер. с англ. В.Е. Глазачева; под ред. А.А. Иконникова. М. : Стройиздат, 1982. 328 с.
3. Кольстет О.А. Метод анализа городской среды Кевина Линча // Аллея Науки. 2021. Т. 1. № 4 (55). С. 131–136. EDN SWVODY.

4. Смирнов С.А. Город и Человек: Очерки по городской антропологии // Город: Архитектура, история, управление. М. : ЛЕНАНД, 2021. № 17. 280 с.
5. Alexander C. A Pattern Language: Towns, Buildings, Construction. Oxford : Oxford University Press, 1977. 1216 p.
6. Быстрова Т.Ю. Архитектура вне времени: идея шаблонов проектирования К. Александра //

Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2011. № 1. С. 47–53.

7. *Гашенко А.Е.* Теория паттернов в формировании городской среды // ПРАЭНМА. Проблемы визуальной семиотики. 2019. № 3 (21). С. 75–88. DOI: 10.23951/2312-7899-2019-3-75-88 EDN KXJTIY.

8. *Бурдые П.* Практический смысл / пер. с фр. А.Т. Бикбов, К.Д. Вознесенская, С.Н. Зенкин, Н.А. Шматко; отв. ред. Н.А. Шматко. СПб. : Алетейя, 2001. 562 с.

9. *Хоружий С.* Вместо послесловия. Комментарий // Джойс, Джеймс. Улисс: Роман / пер. с англ. В. Хинкис, С. Хоружий. М. : Республика, 1993. С. 550–670.

10. *Делёз Ж., Гваттари Ф.* Кафка: за малую литературу. М. : Институт общегуманитарных исследований, 2015. 111 с.

11. *Топоров В.Н.* Петербург и «Петербургский текст русской литературы» (Введение в тему) // Миф. Ритуал. Символ. Образ. Исследования в области мифопоэтического: Избранное. М. : Изд. группа «Прогресс» – «Культура», 1995. С. 259–367. EDN VKXBQN.

12. *Лотман Ю.М.* Архитектура в контексте культуры // Семиосфера. 2000. С. 676–683.

13. *Лотман Ю.М.* Символика Петербурга и проблемы семиотики города // Семиотика города и городской культуры: Петербург. 1984. № 664. С. 30–45.

14. *Лотман Ю.М.* Художественный ансамбль как бытовое пространство // Об искусстве. 1998. С. 574–582.

15. *Lotman Y.* On Structuralism: Works of 1965–1970 / Ed. I.A. Pialschikova. Tallin : TLU Publishing House, 2018. 485 p.

16. *Vólkova Américo E.* O conceito de fronteira na semiótica de Iúri Lotman // Bakhtiniana: Revista de Estudos do Discurso. 2017. Vol. 12. Issue 1. Pp. 5–20. DOI: 10.1590/2176-457326361

17. *De Oliveira Nakagawa R.M.* Lotman e o procedimento modelizador: a formulação sobre “invariante intelectual” da cultura // Bakhtiniana: Revista de Estudos do Discurso. 2019. Vol. 14. Issue 4. Pp. 121–140. DOI: 10.1590/2176-457338379

18. *Благовидова Н.Г., Прохорская Е.Г.* Особенности формирования и сохранения элементов природного и историко-культурного наследия в исторических городах юго-восточного направления Московской области // Архитектура и строительство России. 2016. № 4 (220). С. 22–29. EDN XGYNAN.

19. *Прохорская Е.Г., Благовидова Н.Г.* Проблемы сохранения визуального восприятия объектов культурного наследия в исторических городах Московской области // Academia. Архитектура и строительство. 2021. № 4. С. 59–69. DOI: 10.22337/2077-9038-2021-4-59-69

20. *Степанчук А.В., Гафурова С.В., Латыпова М.С.* «Дух места» как импульс ревитализации территории адмиралтейской слободы города Казани // Архитектон: известия вузов. 2020. № 4 (72). С. 6. DOI: 10.47055/1990-4126-2020-4(72)-6 EDN FZYGCZ.

21. *Латыпова М.С., Мингалимова Э.А.* Ментальная репрезентация образа города Казань // Архитектон: известия вузов. 2021. № 4 (76). С. 3. DOI: 10.47055/1990-4126-2021-4(76)-19. EDN ECHQGI.

22. *Пирогов С.В.* Методологические стратегии и концепты антропологии города // ПРАЭНМА. Проблемы визуальной семиотики. 2019. № 3 (21). С. 254–267. DOI: 10.23951/2312-7899-2019-3-254-267. EDN CVMBUN.

23. *Пирогов С.В., Каптур В.В., Дунаева Д.О.* Аксиологический компонент в структуре визуальных образов городской среды // ПРАЭНМА. Проблемы визуальной семиотики. 2022. № 1 (31). С. 75–89. DOI: 10.23951/2312-7899-2022-1-75-89. EDN MKKXFH.

24. *Dutsev M.* The Image of History as Artistic Dominant of the Urban Environment // Advances in Social Science, Education and Humanities Research. 2021. DOI: 10.2991/assehr.k.211125.175

25. *Chang H.* Propositions for the Aesthetic Continuity of Urban Landscapes // SAGE Open. 2020. Vol. 10. Issue 3. P. 215824402094185. DOI: 10.1177/2158244020941851

26. *Davison J., Giovannoni E.* City Governance and Visual Impression Management: Visual Semiotics and the Biccherna Panels of Siena // Human Relations. 2022. P. 001872672211160. DOI: 10.1177/00187267221116035

27. *Зиятдинова А.Р., Фахрутдинова И.А.* Подходы к проектированию соседских пространств в контексте социологических теорий создания благоприятной городской среды // Известия КазГАСУ. 2017. № 2 (40).

28. *Dobritsyna I.* Spatialization as a Special Form of the Spatial Organization of the City, Objectifying Social Existence // Proceedings of the 2019 International Conference on Architecture: Heritage, Traditions and Innovations (AHTI 2019). 2019. DOI: 10.2991/ahti-19.2019.89

29. *Li C., Li P., Huang X.* Liked and Disliked Streetscape Imagery: Relation to Emotional Motivation and Block Distribution from Tourist Bus Visitors // SAGE Open. 2022. Vol. 12. Issue 3. P. 215824402211171. DOI: 10.1177/21582440221117129

30. *Jacobs S., Notteboom B.* Photography and the Spatial Transformations of Ghent, 1840–1914 // Journal of Urban History. 2018. Vol. 44. Issue 2. Pp. 203–218. DOI: 10.1177/0096144216629969

31. *Bannister J., O'Sullivan A.* Big Data in the City // Urban Studies. 2021. Vol. 58. Issue 15. Pp. 3061–3070. DOI: 10.1177/00420980211014124

32. Date K., Allweil Y. Towards a New Image Archive for the Built Environment // *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*. 2022. Vol. 49. Issue 2. Pp. 519–534. DOI: 10.1177/23998083211011474

33. Боков А.В. Теория. Город. Среда // *Архитектура и строительство России*. 2019. № 4 (232). С. 8–15. EDN FBTOUN.

34. Бабкина Д.О. Исследование образного восприятия города в сознании жителей Басманный района // *Дни студенческой науки : сб. докл. науч.-техн. конф. по итогам научно-исследовательских работ студентов института экономики, управления и коммуникаций в сфере строительства и недвижимости НИУ МГСУ*. 2022. С. 70–73. EDN PJPUVH.

Поступила в редакцию 15 мая 2023 г.

Принята в доработанном виде 25 мая 2023 г.

Одобрена для публикации 29 августа 2023 г.

О Б АВТОРАХ: **Бабкина Дарья Олеговна** — аспирант кафедры «Градостроительство»; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; dbabkinaru@gmail.com;

Олег Игоревич Адамов — кандидат архитектуры, доцент, доцент кафедры «Градостроительство»; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; ORCID: 0000-0003-0027-8275; o_adamov@mail.ru.

Вклад авторов: авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Lynch K. *A Theory of Good City Form*. Cambridge, The MIT Press, 1981; 524.

2. Lynch K. *The Image of the City*. Cambridge, The MIT Press, 1960; 202.

3. Kol'stet O.A. Kevin Lynch's Urban Environment Analysis Method. *Avenue of Science*. 2021; 1(4):131-136. EDN SWVODY. (rus.).

4. Smirnov S.A. The City and the Man: Essays on Urban Anthropology. *City: Architecture, History, Management*. Moscow, LENAND, 2021; 17:280. (rus.).

5. Alexander C. *A Pattern Language: Towns, Buildings, Construction*. Oxford, Oxford University Press, 1977; 1216.

6. Bystrova T.Yu. Architecture beyond Time: Idea Design Patterns K. Alexander. *Academic Bulletin Ural-NIproekt RAASN*. 2011; 1:47-53. (rus.).

7. Gashenko A.E. Pattern Theory in Urban Environment Formation. *ППАЭХМА. Journal of Visual Semiotics*. 2019; 3(21):75-88. DOI: 10.23951/2312-7899-2019-3-75-88 EDN KXJTIY. (rus.).

8. Bourdieu P. *Le Sens pratique (Practical Sense)*. Paris, Les Editions de Minuit, 1980; 480.

9. Horuzhij S. Instead of an Afterword. A Comment. Ulysses J.J.: *Roman* / translated from English by V. Hinkis, S. Khoruzhy. Moscow, Respublika, 1993; 550-670. (rus.).

10. Deleuze G. *Kafka. Pour une littérature mineure*. Paris, Aux éditions de minuit, 1975.

11. Toporov V.N. Petersburg and the “Petersburg Text of Russian Literature” (Introduction to the Topic). *Myth. Ritual. Symbol. Image*. 1995; 259-367. EDN VKXBQN. (rus.).

12. Lotman Y.M. Architecture in the Context of Culture. *Semiosphere*. 2000; 676-683. (rus.).

13. Lotman Y.M. Symbolism of St. Petersburg and the Problems of the Semiotics of the City. *Semiotics of the city and urban culture: Petersburg*. 1984; 664:30-45. (rus.).

14. Lotman Y.M. Art Ensemble as a Living Space. *About art*. 1998; 574-582. (rus.).

15. Lotman Y.M. *On Structuralism: Works of 1965–1970*. Tallin, TLU Publishing House, 2018; 518. (rus.).

16. Vólkova Américo E. O conceito de fronteira na semiótica de Iúri Lotman. *Bakhtiniana: Revista de Estudos do Discurso*. 2017; 12(1):5-20. DOI: 10.1590/2176-457326361

17. De Oliveira Nakagawa R.M. Lotman e o procedimento modelizador: a formulação sobre “invariante intelectual” da cultura. *Bakhtiniana: Revista de Estudos do Discurso*. 2019; 14(4):121-140. DOI: 10.1590/2176-457338379

18. Blagovidova N.G., Prokhorskaya E.G. The Features of Formation and Preserving Elements of the Natural, Historical and Cultural Heritage are in the Historic Cities of the South-East of Moscow Region. *Architecture and construction of Russia*. 2016; 4(220):22-29. EDN XGYNAN. (rus.).

19. Prohorskaya E.G., Blagovidova N.G. Problems of Preservation of Visual Perception of Cultural Heritage Objects in Historical Cities of the Moscow Region. *Academia. Architecture and Construction*. 2021; 4:59-69. DOI: 10.22337/2077-9038-2021-4-59-69 (rus.).

20. Stepanchuk A.V., Gafurova S.V., Latypova M.S. "Genius loci" as an Impulse to the Revitalization of the Admiralteyskaya Sloboda Area in the City of Kazan. *Architecton: Proceedings of Higher Education*. 2020; 4(72):6. DOI: 10.47055/1990-4126-2020-4(72)-6 EDN FZYGCZ. (rus.).

21. Latypova M.S., Minigalimova E.A. Mental Representation of Kazan City Image. *Architecton: Proceedings of Higher Education*. 2021; 4(76):3. DOI: 10.47055/1990-4126-2021-4(76)-19 EDN ECHQGJ. (rus.).

22. Pirogov S.V. Methodological Strategies and Concepts of City Anthropology. *ИПАЭХМА. Journal of Visual Semiotics*. 2019; 3(21):254-267. DOI: 10.23951/2312-7899-2019-3-254-267 EDN CVMBUN. (rus.).

23. Pirogov S.V., Kashpur V.V., Dunaeva D.O. Axiological Component in the Structure of Visual Images of the Urban Environment. *ИПАЭХМА. Journal of Visual Semiotics*. 2022; 1(31):75-89. DOI: 10.23951/2312-7899-2022-1-75-89 EDN MKKXFH. (rus.).

24. Dutsev M. The Image of History as Artistic Dominant of the Urban Environment. *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*. 2021. DOI: 10.2991/assehr.k.211125.175

25. Chang H. Propositions for the Aesthetic Continuity of Urban Landscapes. *SAGE Open*. 2020; 10(3):215824402094185. DOI: 10.1177/2158244020941851

26. Davison J., Giovannoni E. City Governance and Visual Impression Management: Visual Semiotics and the Biccherna Panels of Siena. *Human Relations*. 2022:001872672211160. DOI: 10.1177/00187267221116035

27. Ziyatdinova A.R., Fahrutdinova I.A. Design Approaches for Neighboring Spaces in a Context of So-

ciological Theories of Creating a Friendly Urban Environment. *Izvestiya KazGASU*. 2017; 2(40). (rus.).

28. Dobritsyna I. Spatialization as a Special Form of the Spatial Organization of the City, Objectifying Social Existence. *Proceedings of the 2019 International Conference on Architecture: Heritage, Traditions and Innovations (AHTI 2019)*. 2019. DOI: 10.2991/ahti-19.2019.89

29. Li C., Li P., Huang X. Liked and Disliked Streetscape Imagery: Relation to Emotional Motivation and Block Distribution from Tourist Bus Visitors. *SAGE Open*. 2022; 12(3):215824402211171. DOI: 10.1177/21582440221117129

30. Jacobs S., Notteboom B. Photography and the Spatial Transformations of Ghent, 1840-1914. *Journal of Urban History*. 2018; 44(2):203-218. DOI: 10.1177/0096144216629969

31. Bannister J., O'Sullivan A. Big Data in the City. *Urban Studies*. 2021; 58(15):3061-3070. DOI: 10.1177/00420980211014124

32. Date K., Allweil Y. Towards a New Image Archive for the Built Environment. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*. 2022; 49(2):519-534. DOI: 10.1177/23998083211011474

33. Bokov A.V. Theory. City. Environment. *Architecture and Construction of Russia*. 2019; 4(232):8-15. EDN FBTOUN. (rus.).

34. Babkina D.O. The Study of Figurative Perception of the City in the Minds of the Inhabitants of the Basmany district. *Days of Student Science : a Collection of Reports of a Scientific and Technical Conference Based on the Results of Research Work by Students of the Institute of Economics, Management and Communications in the Field of Construction and Real Estate NRU MGSU*. 2022; 70-73. EDN PJPUVH. (rus.).

Received May 15, 2023.

Adopted in revised form on May 25, 2023.

Approved for publication on August 29, 2023.

BIONOTES: **Daria O. Babkina** — postgraduate student of the Department of Urban Planning; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; dbabkinaru@gmail.com;

Oleg I. Adamov — PhD in Architecture, Associate Professor, Department of Urban Planning; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-0027-8275; o_adamov@mail.ru.

Contribution of the authors: authors made equivalent contributions to the publication.

The authors declare that there is no conflict of interest.

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 711.47

DOI: 10.22227/1997-0935.2023.9.1355-1368

Пространственная и технологическая организация университетских кампусов Новосибирска

Елизавета Алексеевна Волкова, Юлия Евгеньевна Нижегородцева,
Андрей Анатольевич Мороз

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин);
г. Новосибирск, Россия*

АННОТАЦИЯ

Введение. Рассмотрены актуальные критерии архитектурно-пространственной организации университетского кампуса. Выделены некоторые варианты типологии кампусов, на основе данной информации проведен анализ высших учебных заведений Новосибирска. Проанализированы особенности их размещения в структуре города. Предложена классификация, отражающая типы существующих кампусов в Новосибирске. Выявлены ключевые функциональные составляющие современного кампуса в России. Показано функциональное насыщение и технологические особенности университетов Новосибирска. Цель исследования — составление концептуальной модели университетского кампуса Новосибирска. Главная задача — определение функционального состава университетских кампусов, их пространственной и технологической типологии в структуре Новосибирска. Теоретическая значимость исследования заключается в классификации существующих университетов Новосибирска с точки зрения архитектурно-пространственной и технологической организации кампуса. Практическая значимость выражается в представлении данной классификации в виде графической модели.

Материалы и методы. На основании изучения электронных и литературных источников проанализированы различные варианты типологии кампусов вузов. Обобщение и сопоставление данных о составляющих университетов проведено с помощью сравнительного анализа. Концептуальное моделирование отражает архитектурно-пространственные особенности размещения кампусов вузов, а также их функциональное насыщение.

Результаты. Установлены территориально-типологические особенности расположения кампусов в структуре городов. На примере университетских кампусов г. Новосибирска обозначена их пространственная организация. С целью определения особенностей технологической организации университетов Новосибирска выполнен сравнительный анализ функциональных составляющих вуза и представлена концептуальная модель кампуса, актуальная для новосибирских вузов.

Выводы. Исходя из данного анализа, сделан вывод, соответствует ли территориальная организация новосибирских вузов современным требованиям кампуса.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: университетский кампус, университет, типология, архитектурно-пространственная организация, технологическая организация

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Волкова Е.А., Нижегородцева Ю.Е., Мороз А.А. Пространственная и технологическая организация университетских кампусов Новосибирска // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. Вып. 9. С. 1355–1368. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.9.1355-1368

Автор, ответственный за переписку: Елизавета Алексеевна Волкова, e.volkova@sibstrin.ru.

Spatial and technological organization of Novosibirsk university campuses

Elizaveta A. Volkova, Juliya E. Nizhegorodtseva, Andrey A. Moroz

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin); Novosibirsk, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The article is focused on the modern criteria of the university campus's architectural and spatial organization. The authors identify some campuses typologies. Using this information, they analyze Novosibirsk higher educational institutions and their placement features in the city's structure. Finally proposed classification, based on functional saturation and technological features, reflects the types of existing campuses in Novosibirsk. The result of this analysis in a conclusion whether the territorial organization of Novosibirsk universities meets the modern requirements of the campus.

Materials and methods. Based on the study of electronic, written and literary sources, various variants of the typology of university campuses are analyzed. Generalization and comparison of data on the constituent universities was carried out on the basis of comparative analysis. The conceptual modeling reflects the architectural and spatial features of the placement of university campuses, as well as their functional saturation.

Results. Territorial typological features of the location of campuses in the structure of cities are revealed. On the example of university campuses in the city of Novosibirsk, their spatial organization is indicated. In order to determine the features

of the technological organization of Novosibirsk universities, a comparative analysis of the functional components of the university was carried out and a conceptual campus model relevant for Novosibirsk universities was presented.

Conclusions. Based on this analysis, it is concluded whether the territorial organization of Novosibirsk universities meets the modern requirements of the campus.

KEYWORDS: university campus, university, typology, architectural and spatial organization, technological organization

FOR CITATION: Volkova E.A., Nizhegorodtseva Ju.E., Moroz A.A. Spatial and technological organization of Novosibirsk university campuses. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2023; 18(9):1355-1368. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.9.1355-1368 (rus.).

Corresponding author: Elizaveta A. Volkova, e.volkova@sibstrin.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Мировые тенденции развития принципов современного образования и науки показывают, что университет становится не просто местом получения знаний и навыков, но и местом формирования интеллекта человека в форме компетенций, инноваций, а вместе с этим он остается особой территорией для совместной работы исследователей, преподавателей и студентов. Несмотря на то, что в мире возрастает роль дистанционных и виртуальных образовательных технологий, значение такого университетского пространства становится все более актуальным [1, 2].

На сегодняшний день университетские кампусы в своем составе имеют не только жилье для студентов, но и разнообразную структуру для развития образования, науки и инноваций. Кроме того, концепции кампусов предполагают большое количество трансформируемых аудиторий, образовательных пространств, уникальную и комплексную среду для индивидуального и командного развития преподавателей, студентов и ученых [3, 4].

Термин «кампус» используется для обозначения архитектурно-градостроительного комплекса, который объединен общей глобальной функцией науки и образования [5]. Однако, как отметил министр образования и науки РФ В.Н. Фальков в 2021 г., при проектировании университетского кампуса необходимо обратить внимание на особенности модели университета в каждом конкретном регионе¹.

Сейчас в Новосибирске 18 высших учебных заведений, все они имеют различное расположение в градостроительной структуре города и функциональный состав.

Исходя из вышеизложенного, возникает вопрос, соответствуют ли университеты Новосибирска современным требованиям модели кампуса.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для того чтобы понять, какие типологические классификации университетских кампусов уже существуют, выполнен анализ электронных и литературных источников. На основе полученной информации проведен сравнительный анализ. Результаты сопоставления данных отражены на графических схемах. Концептуальное моделирование отражает архитектурно-

пространственные особенности размещения кампусов вузов, а также их функциональное насыщение.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Кампус в структуре города

Университеты являются одним из важных факторов развития города и имеют в своем составе разное функциональное наполнение. Отсюда образовалась различная классификация университетских кампусов в зависимости от их архитектурно-пространственной и архитектурно-планировочной организации в структуре города [6, 7].

Многие исследователи занимались составлением типологических моделей кампусов высших учебных заведений. Например, А.В. Берестова в своей работе рассматривает территориальное расположение вузов и выделяет городской локальный тип, который выполняет градообразующую функцию и формирует город вокруг университета. Автор выделяет городской распределенный тип, который заключается в разбросе зданий в городской застройке, и пригородный (рис. 1) [8].

Данным вопросом занимался также А.В. Попов. Он разделяет кампусы вузов в зависимости от архитектурно-планировочной организации на три типа. По его мнению, вузы с длительной историей развития имеют рассредоточенные комплексы. Расчлененные комплексы представляют собой рассредоточенные группы объектов в разных частях поселения. А компактные комплексы, наоборот, представлены сосредоточенными на одной территории объектами (рис. 2) [9].

В то же время на основании теоретических исследований и практических разработок М.Г. Зобова предложила свою типологию университетских кампусов: интегрированный кампус и автономный. Интегрированный отличается территорией, которая является неотъемлемой частью образовательного кластера. Автономный характеризуется обособленной территорией с собственной инфраструктурой, принадлежащей вузу (рис. 3).

А.А. Высоковский выделяет четыре типа университетского кампуса. Это компактный тип, который может включать одно здание или комплекс и не включать общежития; университетский городок с единой территорией; дисперсный тип (распределенный) и комбинированный, состоящий из еди-

¹ В России провели стратегическую сессию по созданию кампусов мирового уровня // Lenta.ru. 2021.



Рис. 1. Территориальное расположение вузов А.В. Берестовой (автор Е.А. Волкова)
Fig. 1. Territorial location of A.V. Berestova’s universities (author E.A. Volkova)



Рис. 2. Территориальное расположение вузов А.В. Попова (автор Е.А. Волкова)
Fig. 2. Territorial location of universities A.V. Popov (author E.A. Volkova)



Рис. 3. Территориальное расположение вузов М.Г. Зобовой (автор Е.А. Волкова)
Fig. 3. Territorial location of universities M.G. Zobova (author E.A. Volkova)

ной территории с распределенными в городской структуре корпусами (рис. 4) [10].
М.В. Пучков в своем исследовании об архитектурной идентичности организации кампусов рассматривает территориальные комплексы, как градостроительные объекты, которые объединены глобальной функцией и по своему возникновению разделяются на две группы: кампус «гринфилд» (основная особенность в том, что он строится на новом месте) и встраиваемый кампус в существующую городскую среду. Последний бывает нескольких типов по отношению к городской среде и урбанизирован-

ной территории: городской рассредоточенный, городской локальный, «микст» (рис. 5) [11].
Типы пространственной организации кампусов Новосибирска
На сегодняшний день в Новосибирске функционирует пятнадцать государственных университетов, два филиала иногородних высших учебных заведений и один национально-исследовательский университет (табл. 1).
Установили при анализе кампусов Новосибирска, что наиболее точной является классификация, предложенная А.А. Высоковским. Однако автор вы-

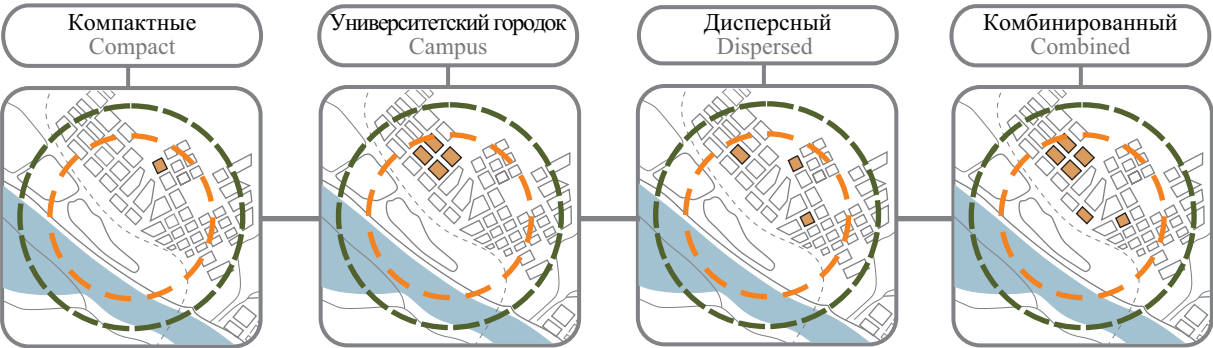


Рис. 4. Территориальное расположение вузов А.А. Высоковского (автор Е.А. Волкова)
Fig. 4. Territorial location of A.A. Vysokovsky universities (author E.A. Volkova)

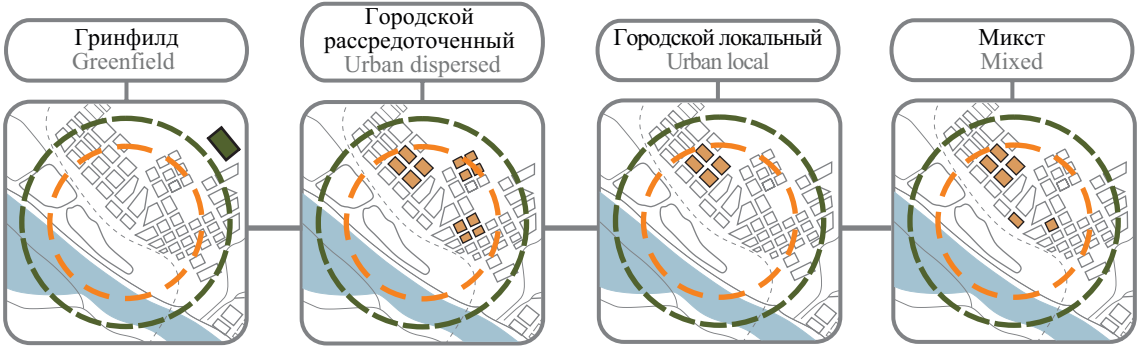


Рис. 5. Территориальное расположение вузов М.В. Пучкова (автор Е.А. Волкова)
Fig. 5. The territorial location of M.V. Puchkov's universities (author E.A. Volkova)

деляет только кампусы, которые находятся непосредственно в городской инфраструктуре. Нельзя исключать наличие загородных территорий кампусов вузов. Исходя из этого, составлена схема (рис. 6).

К загородным кампусам Новосибирска относится Новосибирский национальный исследовательский государственный университет (НГУ). Университет находится на отдельной территории — Академгородок. В данный момент активно развивается и застраивается в рамках программы «Академгородок 2.0» (рис. 7) [12].

Кампусы в структуре города бывают четырех типов. К первому типу (компактному) относятся НГУАДИ, НГТИ, филиал Новосибирского технологического института, Новосибирский военный институт имени генерала армии И.К. Яковлева войск национальной гвардии Российской Федерации и Новосибирская государственная консерватория им. М.И. Глинки (рис. 8). Такие вузы расположены в одном здании или комплексе зданий, часто в их составе нет общежитий, число студентов растет медленно или вообще не растет.

Ко второму типу (университетскому городку) относятся кампусы СГУГиТ, НГАСУ (Сибстрин), Сибирского университета потребительской кооперации, НГПУ (рис. 9). Неслучайно эти кампусы можно назвать «университетским городком», так как все здания университета расположены на одной территории и объединены между собой общей рекреационной связующей [13]. Данный тип позволяет осуществлять активное развитие университета за счет максималь-

ной интегрированности жизни студентов в учебное пространство. Такой вариант организации университетского городка является старинной формой проектирования университетов и до сих пор это наиболее удачный способ организации учебного процесса [14].

Третий тип (дисперсный) характеризуется распределением отдельных зданий, принадлежащих университету, в городской структуре. В Новосибирске к таким относятся СГУВТ и НГМУ (рис. 10).

Наиболее часто встречающийся кампус в Новосибирске — комбинированный (рис. 11), когда университеты в своем составе имеют полноценный кампус, дополненный отдельными зданиями, расположенными на других территориях. К таким вузам относятся НГУЭУ, НГАУ, НГПУ, филиал Сибирского института управления, СибГУТИ и СГУПС (рис. 12).

Территориальные параметры новосибирских кампусов различны и отражают этапы исторического формирования архитектурно-пространственной организации высших учебных заведений России [15].

Технологическая организация кампусов Новосибирска

Идеальная технологическая модель организации университетских кампусов складывалась столетиями (рис. 13). Анализ исторического формирования научно-образовательных объектов дает понимание, что такие заведения не всегда предполагали наличие пространств для обучения. В процессе развития общества, усложнения системы образования, возникали определенные типы пространств,

Табл. 1. Высшие учебные заведения Новосибирска (автор Е.А. Волкова)
Table 1. Higher educational institutions of Novosibirsk (author E.A. Volkova)

	Название Name	Год основания Year grounds
	Новосибирский государственный университет экономики и управления (НИНХ) НГУЭУ Novosibirsk State University of Economics and Management (NINE) NSUEM	1967
	Новосибирский государственный аграрный университет (НГАУ) Novosibirsk State Agrarian University (NSAU)	1936
	Новосибирский государственный педагогический университет (НГПУ) Novosibirsk State Pedagogical University (NSPU)	1935
	Сибирский государственный университет геосистем и технологий (СГУГиТ) Siberian State University of Geosystems and Technologies (SSUGT)	1939
	Новосибирский государственный технический университет (НГТУ) Novosibirsk State Technical University (NSTU)	1950
	Новосибирский государственный университет архитектуры, дизайна и искусств им. А.Д. Крячкова (НГУАДИ) Novosibirsk State University of Architecture, Design and Arts named after A.D. Kryachkov (NSUADA)	1989
	Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет НГАСУ (Сибстрин) Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering NSUACE (Sibstrin)	1930
	Сибирский государственный университет водного транспорта (СГУВТ) Siberian State University of Water Transport (SSUWT)	1951
	Сибирский государственный университет путей сообщения (СибГУПС) Siberian State University of Communications (STU)	1932
	Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики (СибГУТИ) Siberian State University of Telecommunications and Informatics (SibSUTIS)	1953
	Новосибирский государственный медицинский университет (НГМУ) Novosibirsk State Medical University (NSMU)	1935
	Новосибирский государственный театральный институт (НГТИ) Novosibirsk State Theater Institute (NSTI)	1960
	Новосибирский национальный исследовательский государственный университет (НГУ) Novosibirsk-National Research State University (NSU)	1958
	Новосибирская государственная консерватория им. М.И. Глинки Novosibirsk State Conservatory named after M.I. Glinka	1956
	Сибирский университет потребительской кооперации Siberian University of Consumer Cooperation	1956
	Новосибирский военный институт имени генерала армии И.К. Яковлева войск национальной гвардии Российской Федерации Novosibirsk Military Institute named after General of the Army I.K. Yakovlev of the National Guard Troops of the Russian Federation	1971
	Новосибирский технологический институт (филиал) Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина Novosibirsk Technological Institute (branch) of the Kosygin Russian State University (A.N. Kosygin)	1963
	Сибирский институт управления — филиал Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации Siberian Institute of Management — Branch of the Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration of the Russian Federation	1935

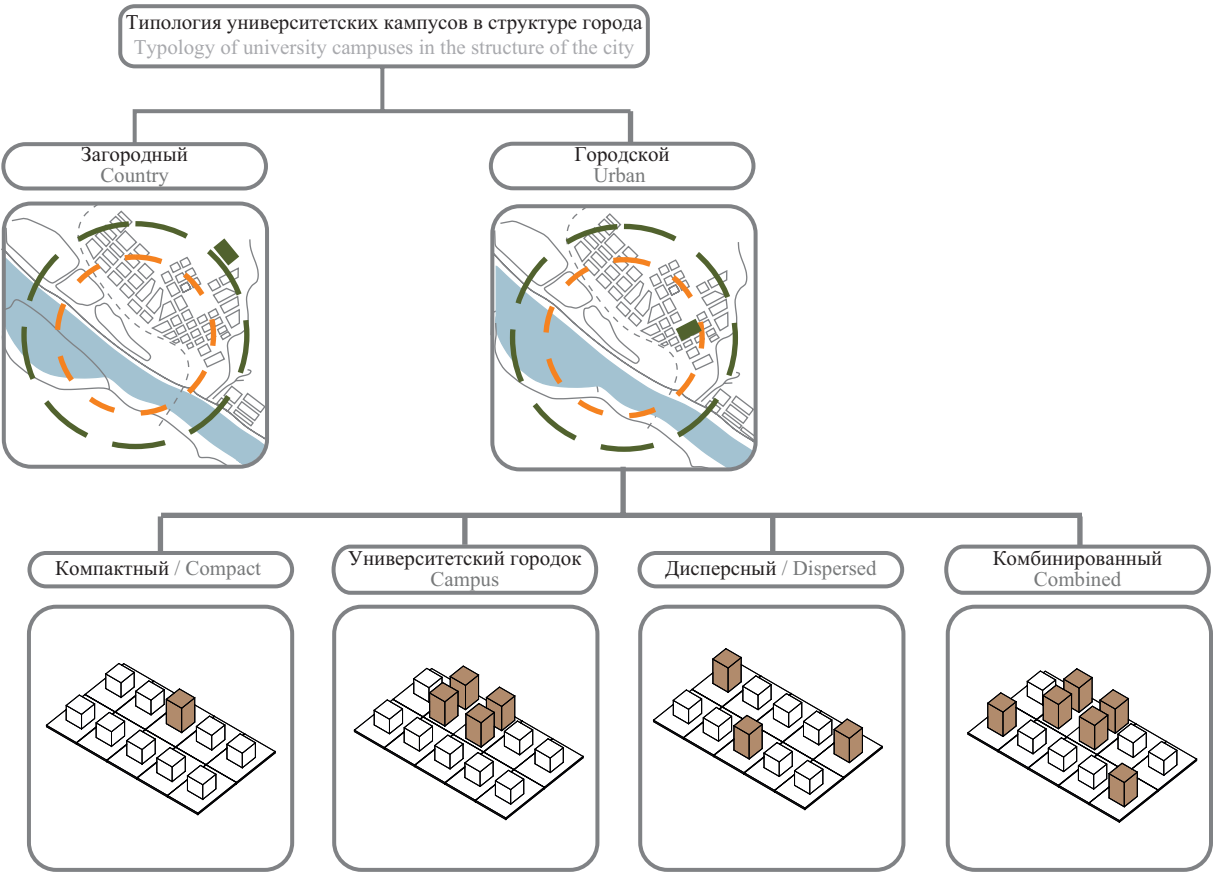


Рис. 6. Типология университетских кампусов в структуре города (автор Е.А. Волкова)
Fig. 6. Typology of university campuses in the structure of the city (author E.A. Volkova)



Рис. 7. Пространственная организация кампуса НГУ (автор Е.А. Волкова)
Fig. 7. Spatial organization of the NSU campus (author E.A. Volkova)

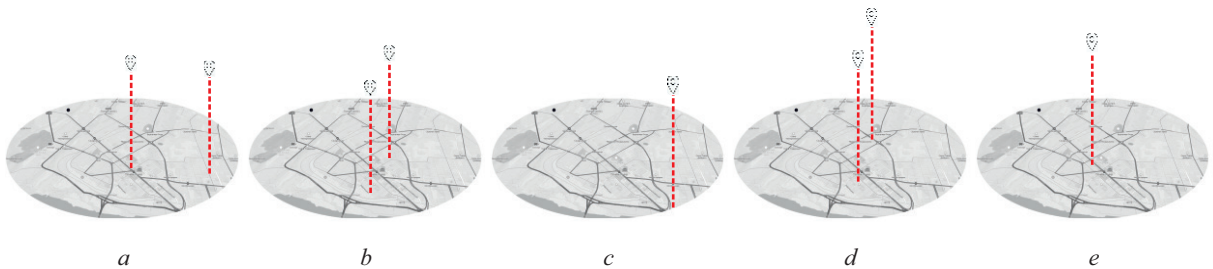


Рис. 8. Пространственная организация кампуса НГУАДИ (a); НГТИ (b); НВИ им. И.К. Яковлева (c); НГК им. М.И. Глинки (d); НТИ (e) (автор Е.А. Волкова)
Fig. 8. Spatial organization of the campus of NGUADI (a); NGTI (b); NVI named after I.K. Yakovlev (c); NGC named after M.I. Glinka (d); NTI (e) (author E.A. Volkova)

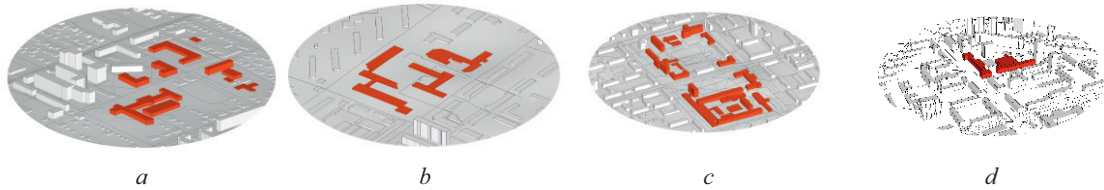


Рис. 9. Пространственная организация кампуса НГАСУ (Сибстрин) (a); СГУГиТ (b); НГПУ (c); СГУПС (d) (автор Е.А. Волкова)

Fig. 9. Spatial organization of the campus of NGASU (Sibstrin) (a); SSUGIT (b); NGPU (c); SSUPS (d) (author E.A. Volkova)

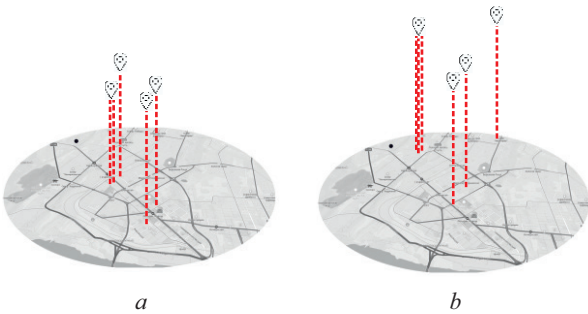


Рис. 10. Пространственная организация кампуса СГУВТ (a); НГМУ (b) (автор Е.А. Волкова)

Fig. 10. Spatial organization of the campus of SSUVT (a); NSMU (b) (author E.A. Volkova)

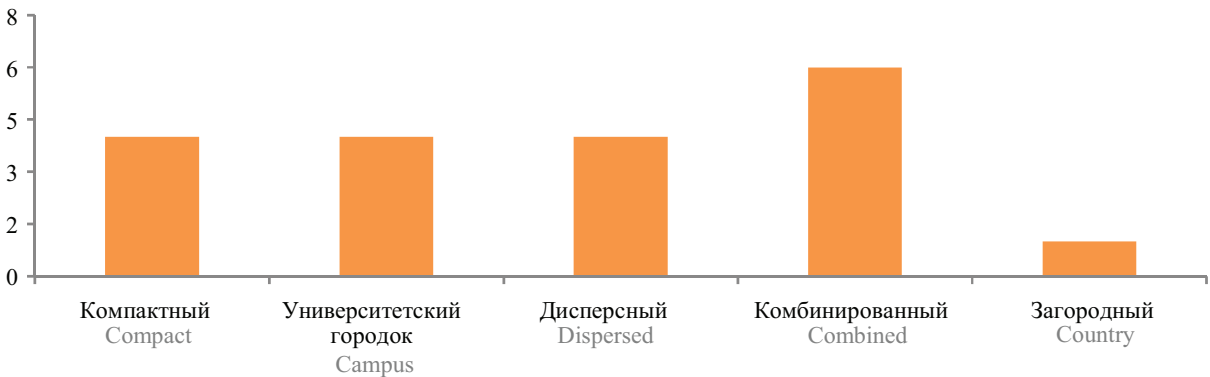


Рис. 11. Соотношение вузов разных пространственных организаций в Новосибирске (автор Е.А. Волкова)

Fig. 11. The ratio of universities of different spatial organizations in Novosibirsk (author E.A. Volkova)

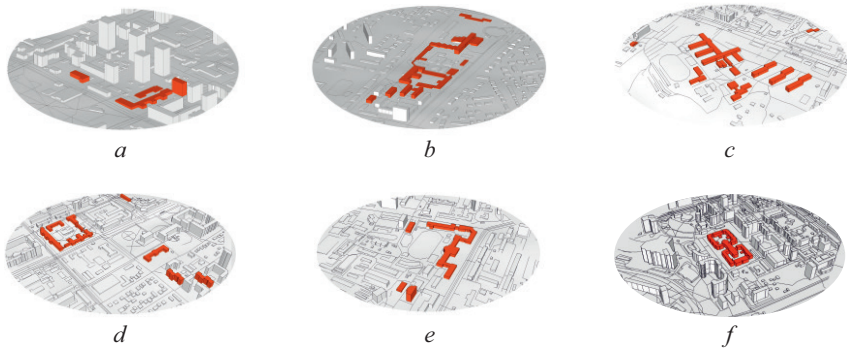


Рис. 12. Пространственная организация кампуса НГУЭУ (a); НГАУ (b); НГПУ (c); СибГУТИ (d); СГУПС (e) и филиала Сибирского института управления (f) (автор Е.А. Волкова)

Fig. 12. Spatial organization of the campus of NGUEU (a); NGPU (b); NSU (c); SIBGUTI (d); SSUPS (e) and a branch of the Siberian Institute of Management (f) (author E.A. Volkova)



Рис. 13. Технологическая модель организации университетских кампусов (автор Е.А. Волкова)
Fig. 13. Technological model of the organization of university campuses (author E.A. Volkova)

которые были предназначены сначала для учебной деятельности, а затем для исследовательской [16].

Для понимания уровня обеспеченности актуальных функциональных составляющих университетов был проведен анализ наиболее крупных университетских кампусов России, а именно: Казанского федерального университета, Сибирского федерального университета, Дальневосточного федерального университета, Санкт-Петербургского государственного университета. Исследовали различные типы российских кампусов, их составляющие, наиболее актуальные на данный период времени; выделили основные функциональные зоны и составили модель российского кампуса с зонами: культурно-досуговой, питания, жилой, спортивной, медицинской, рекреационной и научной (рис. 14).

На сегодняшний день в архитектурно-градостроительном понимании современный научно-образовательный комплекс — это кластерная система, в которую входят различные типы объектов: учебные центры, мастерские, научно-исследовательские лаборатории, а также общественно-рекреационные и жилые объекты. Они могут объединяться в раз-

личные группы и представлять собой различные «сети» объектов в городской среде [17, 18].

Функциональные составляющие университетских кампусов меняются в зависимости от специфики направления университета и направлений подготовки: гуманитарные, технические, естественные (рис. 15). Так, например, для технических вузов наиболее актуально развитие научно-исследовательской зоны — испытательные центры, мастерские; для медицинских — лаборатории, медицинские центры.

Для того чтобы определить особенности технологической организации университетов Новосибирска, выполнен сравнительный анализ функциональных составляющих вуза и представлена концептуальная модель кампуса, актуальная для новосибирских вузов (рис. 16) [19, 20].

Сравнивая функциональный состав университетов Новосибирска (табл. 2), можно сделать вывод, что немногие вузы соответствуют модели российского кампуса. Многие университеты вынуждены арендовать дополнительные помещения для проведения занятий. У таких вузов, как правило, нет территорий для застройки дополнительными сооружениями.

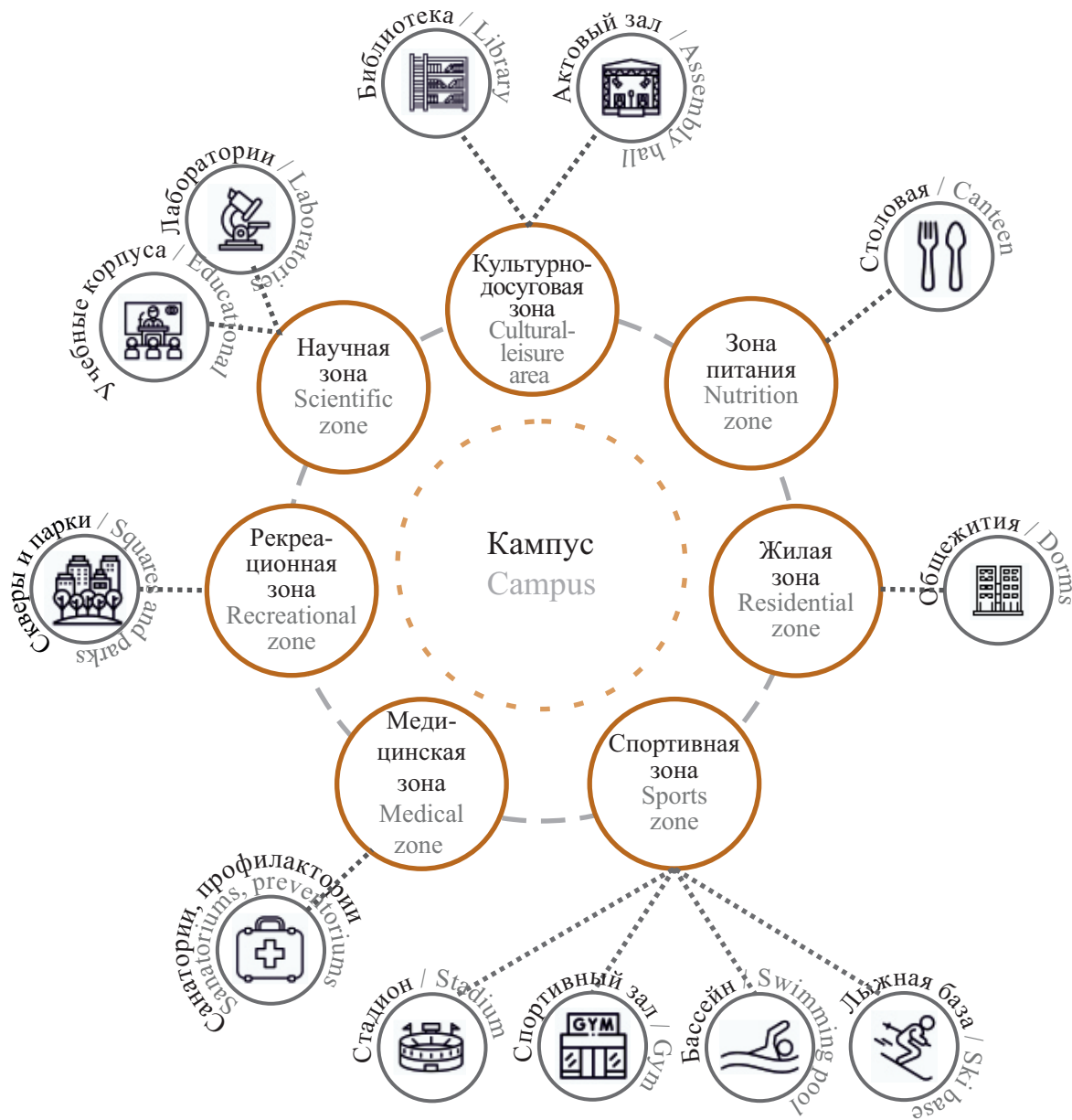


Рис. 14. Схема функционального насыщения кампуса России (автор Е.А. Волкова)
Fig. 14. Scheme of functional saturation of the Russian campus (author E.A. Volkova)

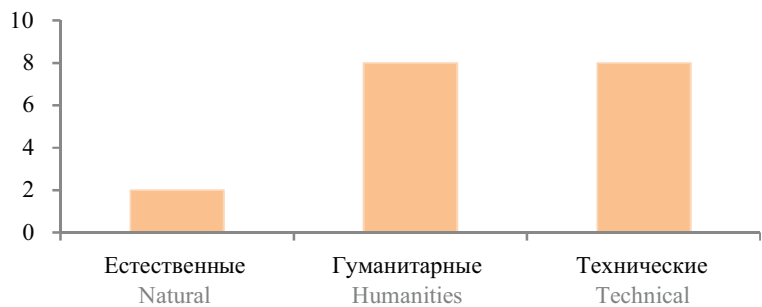


Рис. 15. Соотношение вузов по направлениям подготовки в университетах (автор Е.А. Волкова)
Fig. 15. The ratio of universities in the areas of training at universities (author E.A. Volkova)

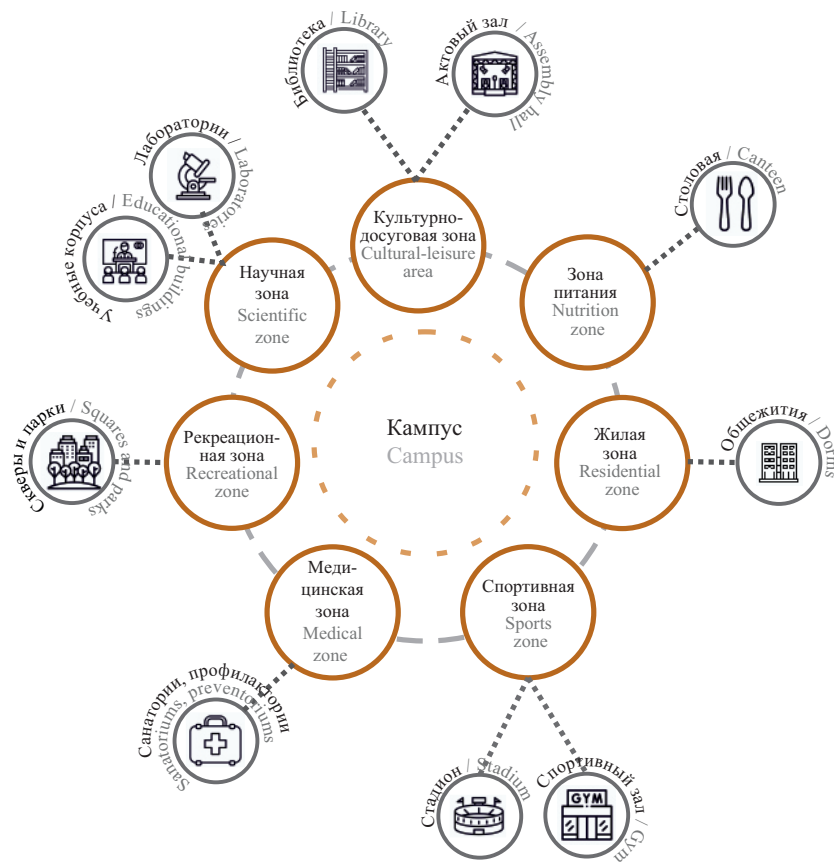


Рис. 16. Схема функционального насыщения кампуса Новосибирска (автор Е.А. Волкова)
Fig. 16. Scheme of functional saturation of the Novosibirsk campus (author E.A. Volkova)

Табл. 2. Сравнительный анализ университетских кампусов Новосибирска по функциональному составу (автор Е.А. Волкова)
Table 2. Comparative analysis of Novosibirsk university campuses by functional composition (author E.A. Volkova)

Название вуза/функции Name of university/function											
Новосибирский государственный университет экономики и управления (НИНХ) НГУЭУ Novosibirsk State University of Economics and Management (NINE) NSUEM	+	+	+	+	-	-	-	-	+	-	+
Новосибирский государственный аграрный университет (НГАУ) Novosibirsk State Agrarian University (NSAU)	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	+
Новосибирский государственный педагогический университет (НГПУ) Novosibirsk State Pedagogical University (NSPU)	+	-	-	+	-	-	+	-	-	-	+
Новосибирский государственный технический университет (НГТУ) Novosibirsk State Technical University (NSTU)	+	+	+	+	-	+	-	+	-	-	+
Сибирский государственный университет геосистем и технологий (СГУГиТ) Siberian State University of Geosystems and Technologies (SSUGT)	+	-	+	+	-	-	+	-	-	-	+
Новосибирский государственный университет архитектуры, дизайна и искусств им. А.Д. Крячкова (НГУАДИ) Novosibirsk State University of Architecture, Design and Arts, named after A.D. Kryachkov (NSUADA)	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+

Окончание табл. 1 / End of the Table 1

Название вуза/функции Name of university/function												
Новосибирский национальный исследовательский государственный университет (НГУ) Novosibirsk National Research State University (NSU)	+	+	+	+	+	+	+	+	–	–	+	+
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет НГАСУ (Сибстрин) Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering NSACE (Sibstrin)	+	+	–	+	+	–	+	+	–	–	+	+
Новосибирская государственная консерватория им. М.И. Глинки Novosibirsk State Conservatory named after M.I. Glinka	+	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–
Новосибирский государственный театральный институт (НГТИ) Novosibirsk State Theater Institute (NSTI)	+	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–
Сибирский государственный университет водного транспорта (СГУВТ) Siberian State University of Water Transport (SSUWT)	+	–	–	+	–	–	–	–	–	–	+	–
Сибирский государственный университет путей сообщения (СибГУПС) Siberian State University of Communications (STU)	+	+	+	+	–	+	+	+	–	–	+	+
Сибирский институт управления Siberian Institute of Management	+	–	–	+	–	–	–	–	–	–	+	–
Сибирский университет потребительской кооперации Siberian University of Consumer Cooperation	+	–	–	+	–	–	–	+	+	–	+	–
Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики (СибГУТИ) Siberian State University of Telecommunications and Informatics (SibSUTIS)	+	+	–	+	–	–	+	–	–	–	+	+
Новосибирский технологический институт Novosibirsk Technological Institute	+	+	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–
Новосибирский военный институт имени генерала армии И.К. Яковлева войск национальной гвардии Российской Федерации Novosibirsk Military Institute named after General of the Army I.K. Yakovlev of the National Guard Troops of the Russian Federation	+	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–
Новосибирский государственный медицинский университет (НГМУ) Novosibirsk State Medical University (NSMU)	+	–	+	+	–	+	–	–	–	–	+	–

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Типологический архитектурно-пространственный анализ кампусов Новосибирска показал, что наиболее характерный тип университетского кампуса — комбинированный. Это связано в первую очередь с историческим формированием архитектурно-пространственной организации кампусов. К основным типам архитектурно-пространственной организации университетских кампусов г. Новосибирска можно отнести загородный тип и городской, который может быть компактным, дисперсным, комбинированным или полноценным университетским городком.

Проанализировав функциональный состав идеального исторически сложившегося кампуса, кампусов крупнейших университетов России и кампусов Новосибирска, можно сделать вывод, что ни один кампус Новосибирска в своем составе не имеет всех технологических составляющих, которые актуальны на российском уровне. На это влияют многие факторы, прежде всего экономический и градостроительный. Функциональные составляющие современных кампусов зависят от специфики направления вуза. Российские кампусы в настоящее время ориентированы на развитие научной и инновационной среды. Существующим кампусам не хватает производственной базы, цифровой среды и связывающей все здания рекреационной среды.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Пучков М.В. Принципы проектирования научно-образовательных центров нового поколения: архитектура современных технологий обучения // Academia. Архитектура и строительство. 2011. № 2. С. 48–51. EDN OOHKRR.
2. Кулешова Г.И. Университет и город. Очерк эволюции связи университетской институции с городской средой. Часть 1. Мировой опыт // Academia. Архитектура и строительство. 2021. № 4. С. 70–79. DOI: 10.22337/2077-9038-2021-4-70-79. EDN QDEECB.
3. Пасько О.А. Особенности землеустройства и тенденции развития кампусов // Записки Горного института. 2013. Т. 204. С. 147–154.
4. Van Tankeren W., Danivska V., Smit B. A typology for the university campus as a living lab for Facility Management education and research // 21st EuroFM Research Symposium. 2022.
5. Зобова М.Г. Обновление архитектурно-градостроительной типологии университетских кампусов в России // Вестник Оренбургского государственного университета. 2015. № 5. С. 137–141. EDN SYCXRX.
6. Айкишева А.Е., Добровольская Л.В. Особенности формирования пространства студенческих кампусов в городской структуре // Ползуновский альманах. 2022. № 2–1. С. 3–5. EDN KJYRNA.
7. Herz M. Campus Landscape. Planning & Design. London : Design Media Publishing Limited, 2013.
8. Берестова А.В. Исторические предпосылки создания университетских кампусов и анализ тенденций развития // Российские регионы в фокусе перемен : сб. докл. XI Междунар. конф. 2016. С. 210–216. EDN ZFMVXX.
9. Попов А.В., Сырова О.И. Вопросы типологии открытых общественных пространств кампусов вузов // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2021. № 3 (35). С. 116–125. DOI: 10.21869/2311-1518-2020-35-3-116-125. EDN CZBMNB.
10. Высоковский А.А., Евсягина А.В. Университет в городе // Отечественные записки. 2013. № 4 (55). С. 193–214. EDN RWIPQV.
11. Пучков М.В. Архитектурная идентичность организации: пространственные схемы кампусов // Архитектон: известия вузов. 2012. № 2 (38). С. 3. EDN PBKDNH.
12. Седова Ю.А. Современный кампус университета // Символ науки. 2016. № 12–3 (24). С. 194–195. EDN XVUIQL.
13. Agrawal P., Yadav M. Campus design of universities: An overview // Journal of Design and Built Environment. 2021. Vol. 21. Issue 3. Pp. 37–51. DOI: 10.22452/jdbe.vol21no3.3
14. Bebko P., Huffman D. Developing a typology of branch campuses: Findings from the NABCA campus and center administrator survey. Florida : Institutional Effectiveness and Analysis, 2010.
15. Мартюшов Л.Н., Суворов М.В. История образования в России и на Урале : учебное пособие. Екатеринбург : Уральский государственный педагогический университет, 2017. 140 с. EDN ZPTPAP.
16. Кудрявцева Е.А. К проблеме формирования межвузовского кампуса в городе Новосибирске // Ноэма (Архитектура. Урбанистика. Искусство). 2020. № 2 (5). С. 237–242. EDN QVVQAP.
17. Пучков М.В. Университетский кампус. Принципы создания пространства современных университетских комплексов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2011. № 3 (32). С. 79–88. EDN OEDUUX.
18. Астафьева Н.В. Методология управления инновационным развитием университетских комплексов : автореф. дис. ... д-ра экон. наук. М. : МАРХИ, 2008. 40 с.
19. Heijer A. Managing the university campus: Exploring models for the future and supporting today's decisions. Netherlands, 2012.
20. Куреева Т.В. Университетский кампус — история возникновения и градостроительного развития (X–XIX вв.) // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2012. № 28 (47). С. 263–269. EDN PEKAGT.

Поступила в редакцию 29 июня 2023 г.

Принята в доработанном виде 12 сентября 2023 г.

Одобрена для публикации 12 сентября 2023 г.

ОБ АВТОРАХ: Елизавета Алексеевна Волкова — магистр; Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин); 630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, д. 113; SPIN-код: 4801-1391; e.volkova@sibstrin.ru;

Юлия Евгеньевна Нижегородцева — старший преподаватель, заместитель заведующего кафедрой архитектуры и реконструкции городской среды; Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин); 630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, д. 113; yu.nizhegorodtseva@sibstrin.ru;

Андрей Анатольевич Мороз — кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и организации строительства; Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин); 630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, д. 113; a.moroz@sibstrin.ru.

Вклад авторов:

Волкова Е.А. — сбор и обработка материала, написание текста статьи, составление модели, создание схем и таблиц.

Нижегородцева Ю.Е. — концепция исследования, обработка материала, доработка текста.

Мороз А.А. — научное руководство, научное редактирование текста.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Puchkov M.V. Architectural design principles of new research and educational centers: architecture for modern teaching technologies. *Academia. Architecture and construction*. 2011; 2:48-51. EDN OOHKRR (rus.).
2. Kuleshova G.I. The university and the city. Essays on evolution of connection between university institution and urban environment: world practice, peculiarities, aims and tasks of native practice. *Academia. Architecture and construction*. 2021; 4:70-79. DOI: 10.22337/2077-9038-2021-4-70-79. EDN QDEECB. (rus.).
3. Pasko O.A. Features of land management and trends in campus development. *Proceedings of the Mining Institute*. 2013; 204:147-154. (rus.).
4. Van Tankeren W., Danivska V., Smit B. A typology for the university campus as a living lab for Facility Management education and research. *21st EuroFM Research Symposium*. 2022.
5. Zobova M.G. Updating the architectural and urban typology of university campuses in Russia. *Bulletin of Orenburg State University*. 2015; 5:137-141. EDN SYCXRQ. (rus.).
6. Aikisheva A.E., Dobrovolskaya L.V. Features of the formation of spaces of student campuses in the urban environment. *Polzunovskiy almanac*. 2022; 2-1:3-5. EDN KJYRHA. (rus.).
7. Herz M. *Campus Landscape. Planning & Design*. London, Design Media Publishing Limited, 2013.
8. Berestova A. Historical prerequisites of university campuses creation and development trend analysis. *Russian Regions in the focus of change : collection of XI International Conference*. 2016; 210-216. EDN ZFMVXX. (rus.).
9. Popov A.V., Syrova O.I. Issues of the typology of open public spaces of university campuses. *Biospheric compatibility: human, region, technologies*. 2021; 3(35):116-125. DOI: 10.21869/2311-1518-2020-35-3-116-125. EDN CZBMNB. (rus.).
10. Vysokovsky A., Evsyagina A. University in the city. *Domestic Notes*. 2013; 4(55):193-214. EDN RWIPQV. (rus.).
11. Puchkov M.V. Architectural identity of an organization: spatial arrangement of campuses. *Architecton: Proceedings of Higher Education*. 2012; 2(38):3. EDN PBKDNH. (rus.).
12. Sedova Yu.A. Modern campus of the university. *Symbol of Science*. 2016; 12-3(24):194-195. EDN XVUIQL. (rus.).
13. Agrawal P., Yadav M. Campus design of universities: An overview. *Journal of Design and Built Environment*. 2021; 21(3):37-51. DOI: 10.22452/jdbe.vol21no3.3
14. Bebeko P., Huffman D. *Developing a typology of branch campuses: Findings from the NABCA campus and center administrator survey*. Florida, Institutional Effectiveness and Analysis, 2010.
15. Martyushov L.N., Suvorov M.V. *History of education in Russia and the Urals*. Yekaterinburg, Ural State Pedagogical University, 2017; 140. EDN ZPTPAP. (rus.).
16. Kudryavtseva E. To the problem of forming an inter-university campus in Novosibirsk. *NOEMA (Architecture. Urban studies. Art)*. 2020; 2(5):237-242. EDN QVVQAP. (rus.).
17. Puchkov M.V. University campus. Principles of architectural and urban design for modern university complexes. *Journal of Construction and Architecture*. 2011; 3(32):79-88. EDN OEDUUX. (rus.).
18. Astafyeva N.V. *Methodology of management of innovative development of university complexes : abstract. diss. ... doc. economy. sciences*. Moscow, Markhi, 2008; 40. (rus.).
19. Heijer A. *Managing the university campus: Exploring models for the future and supporting today's decisions*. Netherlands, 2012.
20. Kireeva T.V. University campus — the history of its creation and city-planning development (X–XIX centuries). *Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture*. 2012; 28(47):263-269. EDN PEKAGT. (rus.).

Received June 29, 2023.

Adopted in revised form on September 12, 2023.

Approved for publication on September 12, 2023.

BIONOTES: **Elizaveta A. Volkova** — master; **Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin)**; 113 Leningradskaya st., Novosibirsk, 630008, Russian Federation; SPIN-code: 4801-1391; e.volkova@sibstrin.ru;

Juliya E. Nizhegorodtseva — senior lecturer, Deputy Head of the Department of Architecture and Urban Reconstruction senior lecturer; **Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin)**; 113 Leningradskaya st., Novosibirsk, 630008, Russian Federation; yu.nizhegorodtseva@sibstrin.ru;

Andrey A. Moroz — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology and Organization of Construction; **Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin)**; 113 Leningradskaya st., Novosibirsk, 630008, Russian Federation; a.moroz@sibstrin.ru.

Contribution of the authors:

Elizaveta A. Volkova — collection and processing of the material, writing the text of the article, making a layout, creating diagrams and tables.

Juliya E. Nizhegorodtseva — the concept of research, material processing, text revision.

Andrey A. Moroz — scientific supervisor, scientific text editing.

The authors declare that there is no conflict of interest.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ. СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА. ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 666.982.2

DOI: 10.22227/1997-0935.2023.9.1369-1382

Жесткость поврежденной пожаром железобетонной колонны при разгрузке после высокоинтенсивного горизонтального воздействия

Ашот Георгиевич Тамразян, Владимир Игоревич Черник

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Последствия разрушительных землетрясений показывают, что проблема анализа реакции железобетонных каркасов при сейсмических нагрузках после пожара является актуальной. Применяемые при этом расчетные модели для отдельных элементов и зданий в целом должны учитывать нелинейные свойства бетона и арматуры. Малоцикловой характер сейсмического воздействия приводит к необходимости разработки моделей гистерезиса, которые отражали бы специфику поведения конструкции не только при нагружении, но также при разгрузке и последующем приложении силы в обратном направлении. Представлен краткий обзор моделей гистерезиса для железобетонных элементов при малоцикловых нагрузках с акцентом на жесткостные свойства при разгрузке. Гистерезисных моделей для железобетонных элементов после пожара в настоящее время не разработано.

Материалы и методы. Предлагаемая модель основана на билинейной диаграмме для расчета внецентренно сжатых железобетонных колонн, поврежденных пожаром. Для описания модели требуется всего три параметра: предельный момент, предельная кривизна и эффективная начальная жесткость. При определении жесткости при разгрузке используется метод, основанный на непосредственном рассмотрении распределения напряжений и деформаций в стадии напряженно-деформированного состояния, соответствующей полной разгрузке. Модель учитывает различные уровни осевой нагрузки, косвенное армирование поперечными хомутами, продольный изгиб и неравномерное распределение напряжений в сжатой зоне бетона.

Результаты. На основе предложенной модели проведено сравнение билинейных диаграмм деформирования и жесткостей при разгрузке для железобетонных колонн, подвергнутых стандартному пожару различной продолжительности. Результаты расчетов показали значительное снижение несущей способности и жесткости поврежденных колонн и увеличение их пластичности. Жесткость разгрузки для железобетонных колонн оказалась меньше начальной. Снижение жесткости при разгрузке происходит тем более интенсивней, чем дольше оказывалось воздействие пожара.

Выводы. Полученная модель проста в использовании и подходит для большинства инженерных расчетов. Данная модель может быть применена в качестве основы для построения диаграммы гистерезиса для малоцикловых воздействий после пожара, что необходимо для сейсмического анализа конструкций во временной области.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: железобетон, землетрясение, нелинейность, огнестойкость, пластический шарнир, пожар, сейсмостойкость

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Тамразян А.Г., Черник В.И. Жесткость поврежденной пожаром железобетонной колонны при разгрузке после высокоинтенсивного горизонтального воздействия // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. Вып. 9. С. 1369–1382. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.9.1369-1382

Автор, ответственный за переписку: Ашот Георгиевич Тамразян, tamrazian@mail.ru.

Stiffness of a fire-damaged reinforced concrete column during unloading after high-intensity horizontal impact

Ashot G. Tamrazyan, Vladimir I. Chernik

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The consequences of destructive earthquakes show that the problem of analyzing the response of reinforced concrete frames under seismic loads after a fire is urgent. The calculation models applied in this case for individual elements

and buildings as a whole should take into account the nonlinear properties of concrete and reinforcement. The low-cycle nature of seismic action leads to the necessity of developing hysteresis models, which would reflect the specific behaviour of the structure not only during loading but also during unloading and subsequent application of force in the opposite direction. A brief review of hysteresis models for reinforced concrete elements under low-cycle loading with emphasis on the stiffness properties during unloading is presented. Hysteresis models for reinforced concrete elements after fire have not been developed at present.

Materials and methods. The proposed model is based on a bilinear diagram for the calculation eccentrically compressed reinforced concrete columns damaged by fire. Only three parameters are required to describe the model: limiting moment, limiting curvature, and effective initial stiffness. In determining the unloading stiffness, a method based on direct consideration of the stress and strain distribution in the stress-strain stage corresponding to full unloading is used. The model takes into account different levels of axial loading, indirect reinforcement by transverse clamps, longitudinal bending and non-uniform stress distribution in the compressed zone of concrete.

Results. Based on the proposed model, a comparison of bilinear diagrams of deformation and stiffness at unloading for reinforced concrete columns subjected to standard fire of different duration was carried out. Calculation results showed a significant decrease in the bearing capacity and stiffness of the damaged columns and an increase in their plasticity. The unloading stiffness for reinforced concrete columns was less than the initial one. The decrease in unloading stiffness is the more intensive the longer the fire exposure was.

Conclusions. The obtained model is easy to use and suitable for most engineering calculations. The model can be used as a basis for constructing a hysteresis diagram for low-cycle impacts after a fire, which is necessary for seismic analysis of structures in the time domain.

KEYWORDS: reinforced concrete, earthquake, nonlinearity, fire resistance, plastic hinge, fire, seismic resistance

FOR CITATION: Tamrazyan A.G., Chernik V.I. Stiffness of a fire-damaged reinforced concrete column during unloading after high-intensity horizontal impact. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2023; 18(9):1369-1382. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.9.1369-1382 (rus.).

Corresponding author: Ashot G. Tamrazyan, tamrazian@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Железобетонные колонны в каркасных зданиях в процессе эксплуатации подвергаются комплексу силовых и средовых воздействий. Помимо этого, большую опасность могут представлять комбинации особых воздействий, учет которых в настоящее время недостаточно отражен в нормативной литературе.

К таким комбинациям можно отнести, например, проблемы учета динамического характера нагрузок в условиях предварительных огневых [1] и средовых [2] воздействий, комбинацию сейсмических сил и пожара [3].

Для их изучения важно развитие методов анализа отдельных конструктивных элементов (колонн, балок и т.д.), которые впоследствии можно применять при рассмотрении работы конструктивных систем в целом.

В случае комбинации сейсмических и огневых воздействий основой для разработки теоретических методов являются результаты экспериментальных исследований.

Выделяют четыре стадии разрушения железобетонных колонн в условиях малоциклового нагружения [4]: появление нормальных трещин; разрушение защитного слоя бетона; разрушение центральной части бетонного сечения; окончательный отказ, вызванный потерей устойчивости продольной арматуры.

Такой механизм разрушения называется изгибным. Кроме изгибного, известны также сдвиговой и сжато-сдвиговой механизмы разрушения [5]. Огневое воздействие на железобетонные колонны может изменить их механизм разрушения.

Например, в исследовании [6] установлено, что воздействие пожара перед землетрясением оказывает

влияние не только на несущую способность, деформативность и свойства демпфирования железобетонной одноэтажной и однопролетной рамы, но и на механизм ее разрушения, когда потеря несущей способности происходит по колонне до образования пластических шарниров в балках. Рама, запроектированная на разрушение вследствие образования пластического шарнира в балке, после пожарного воздействия теряет несущую способность из-за разрушения колонны, которое имеет сдвиговой характер.

В работе [7] изучается влияние числа обогреваемых граней колонны на ее сейсмический отклик. Замечено, что при уменьшении числа обогреваемых сторон максимальная температура бетонного ядра уменьшается. При этом увеличивается несущая способность и суммарная рассеиваемая энергия.

Для предотвращения хрупкого разрушения элементов под воздействием сейсмических нагрузок участки колонн и балок, примыкающие к узлам каркаса, густо армируют поперечными хомутами, которые выполняют роль не только раскрепления для продольной арматуры, но и косвенного армирования. В труде [8] приводятся экспериментальные исследования, в которых анализируется влияние косвенного армирования на сейсмостойкость железобетонных колонн, поврежденных пожаром. Однако, по мнению авторов настоящей статьи, шаг хомутов при испытаниях принят достаточно большим — превышает половину рабочей высоты сечения, что значительно снижает эффективность поперечного армирования.

После возникновения пожара в здании, находящемся в сейсмически опасном районе, появляется необходимость усиления поврежденных конструкций для обеспечения сопротивляемости будущим возможным землетрясениям. Наиболее распростра-

ненным методом усиления сегодня считается применение углекомпонитного поперечного армирования. Эффективность данного вида усиления для железобетонных колонн, поврежденных пожаром, показана в публикации [9].

Помимо экспериментальных исследований, интерес представляют также результаты численного моделирования. Было проведено моделирование сборной железобетонной колонны с учетом влияния повреждений, вызванных пожаром при различной его продолжительности [10]. Предложена теоретическая модель сопротивления сдвигу колонны, которая достаточно хорошо согласуется с численным расчетом.

Метод численного моделирования используется авторами не только для анализа отдельных элементов, но и для больших размерных конструктивных систем. В статье [11] исследуется чувствительность критериев оценки сейсмостойкости (форм и частот колебаний, перемещений, усилий) к различному положению огневого воздействия на примере трехпролетного пятиэтажного железобетонного пространственного каркаса. Рассмотрено 16 вариантов положения очага пожара. Результаты моделирования сравниваются с аналитическим расчетом по консольной схеме.

В нелинейной стадии работы рамных каркасов в окрестности опорных узлов балок возникают локальные области упругопластических деформаций. В соответствии с этим в расчетных схемах нелинейные свойства концентрируют в отдельных областях, которые именуются пластическими шарнирами, в то время как колонны и пролетные участки балок работают упруго [12].

Описание нелинейной работы колонн и балок в области условного пластического шарнира обычно выполняется с помощью диаграмм гистерезиса, которые учитывают деградацию прочности и жесткости при малоцикловых колебаниях, потери диссипативной энергии, изменение жесткости при открытии и закрытии трещин (pinching-эффект). Диаграммы гистерезиса обычно строятся в осях «изгибающий момент – кривизна» или «горизонтальная сила – горизонтальное перемещение».

Гистерезисные кривые по возможности должны учитывать наибольшую пластическую сопротивляемость железобетонных конструкций и включать области упрочнения и разупрочнения для установления истинного характера перераспределения усилий в системе. Важным при описании работы железобетонных колонн является проблема задания жесткости при разгрузке, которая бы достаточно точно отражала соотношения между остаточными и упругими перемещениями.

Отдельными исследователями было разработано множество моделей гистерезиса той или иной степени точности. Подробный обзор применяемых гистерезисных кривых представлен в работе [13].

Рассмотрим способы задания жесткости железобетонных элементов при разгрузке на примере ряда моделей гистерезиса, которые используются в практике сейсмостойкого проектирования.

В самых ранних моделях гистерезиса принимался подход, когда жесткость при разгрузке равна начальной эффективной жесткости железобетонного элемента. Такой подход реализован, например, для билинейной диаграммы [14], имеющей площадку текучести, и в работе [15], которая учитывает ветвь упрочнения после достижения предельного усилия. Однако результаты сейсмических расчетов [16] показывают, что для систем, обладающих малой гибкостью (период первого тона колебаний $T_1 < 0,2$ с), существенное влияние на результаты оказывает жесткость при разгрузке отдельных элементов. Несмотря на свою простоту билинейные модели пользуются популярностью, поскольку обладают понятными вычислительными преимуществами.

Дальнейшее развитие методов учета жесткости при разгрузке в гистерезисных моделях предложено в публикации [17]. Данная модель основана на трехлинейной монотонной диаграмме, которая учитывает характерные стадии напряженно-деформированного состояния (НДС): образование трещин в растянутой зоне, достижение напряжениями в растянутой арматуре предела текучести, разрушение элемента. Жесткость при разгрузке K_r задается как функция от текущей жесткости, соответствующей возникновению текучести в растянутой арматуре K_y , и относительной амплитуды $D_y/D_{\max}$. Жесткость K_r определяется по формуле:

$$K_r = K_y (D_y/D_{\max})^\alpha, \quad (1)$$

где $D_y, D_{\max}$ — абсолютное перемещение при достижении текучести в арматуре и максимальное перемещение на всех циклах соответственно; α — эмпирический коэффициент.

В этом случае коэффициент α постоянен и принят равным 0,4. Постоянный коэффициент α не позволяет учесть тип железобетонного элемента (балка, колонна и т.д.), формы сечения и его армирование. В связи с этим в дальнейших моделях [18, 19] постоянная α принимается на основании обработки экспериментальных данных для конкретной конструкции.

Последующие модели, такие как указаны в труде [20], учитывают не только снижение разгрузочной жесткости по отношению к начальной, но также включают эффект циклической деградации жесткости. Жесткость при разгрузке на i -м цикле устанавливается по следующему выражению:

$$K_{r,i} = (1 - \beta_i) K_{y,i}, \quad (2)$$

где β_i — коэффициент деградации жесткости при разгрузке на i -м цикле.

Такой подход позволяет более точно учитывать перераспределение усилий между элементами несущего каркаса. Коэффициент β_i также является экспериментальным и принимается для каждой конкретной конструкции отдельно.

Приведенные модели, по существу, основаны на эмпирических зависимостях, которые в свою очередь не позволяют гибко учесть возможное разнообразие конструктивных решений элементов. Кроме того, для элементов, предварительно подвергнутых огневому воздействию подобных моделей, на настоящий момент предложено не было.

В настоящей статье разрабатывается модель, которая бы позволила описывать жесткостные характеристики железобетонных колонн при разгрузке с учетом наличия и величины продольной силы, поперечного косвенного армирования, влияния продольного изгиба и разрушения защитного слоя бетона. Предлагаемый подход обобщается на случай элементов, поврежденных стандартным огнем воздействием при различной его продолжительности. В основе метода лежит анализ стадий НДС железобетонного элемента. Процедура метода основана на выявлении опорных точек диаграммы, при достижении которых наблюдается изменение жесткости [21]. Преимуществом служит непосредственный учет распределения напряжений и деформаций в сечении элемента и динамика их изменения при переходе от одной стадии к другой.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

При определении жесткости при разгрузке для железобетонных колонн, поврежденных пожаром, рассмотрим следующую расчетную схему (рис. 1, а): колонна представляется в виде стержня, жестко заземленного по краям; к верхнему торцу колонны приложена постоянная вертикальная осевая сила P

и горизонтальное перемещение δ , которое вызывает в заделке изгибающий момент M . При разгрузке горизонтальное перемещение уменьшается до тех пор, пока изгибающий момент не окажется нулевым ($M = 0$). Динамические эффекты не учитываются [22].

Предварительно исследуемая колонна подвергается огневому воздействию с четырех сторон в соответствии с кривой стандартного пожара по ISO 834. В результате этого сечение элемента будет представлять совокупность зон, прогретых до различной температуры, внутри которых прочностные и деформационные характеристики постоянны. Считаем, что до силового нагружения прошло достаточно времени после пожара для частичного восстановления механических характеристик бетона и арматуры.

Гипотезы и допущения:

- 1) гипотеза Бернулли — поперечные сечения плоские до деформации остаются такими и после;
- 2) эпюра напряжений в бетоне до разгрузки принимается прямоугольной, после разгрузки треугольной с нулевым значением на нейтральном волокне;
- 3) для материалов приняты следующие диаграммы деформирования: билинейные для сжатого бетона (рис. 2, а) и арматуры (рис. 2, б); трехлинейная для бетона, с косвенным армированием в виде часто расположенных поперечных хомутов (рис. 2, с);
- 4) работа растянутого бетона не учитывается;
- 5) напряжения в бетоне и арматуре находятся путем составления и решения уравнений равновесия.

Работа внецентренно сжатого железобетонного элемента при нагружении описывается с помощью билинейной диаграммы в осях «момент M — кривизна ρ » (рис. 1, б). Для задания диаграммы используется всего три параметра: несущая способность (предельный изгибающий момент) M_u , эффективная жесткость EI_{eff} и предельная кривизна ρ_u . Напряженно-деформированное состояние колонны

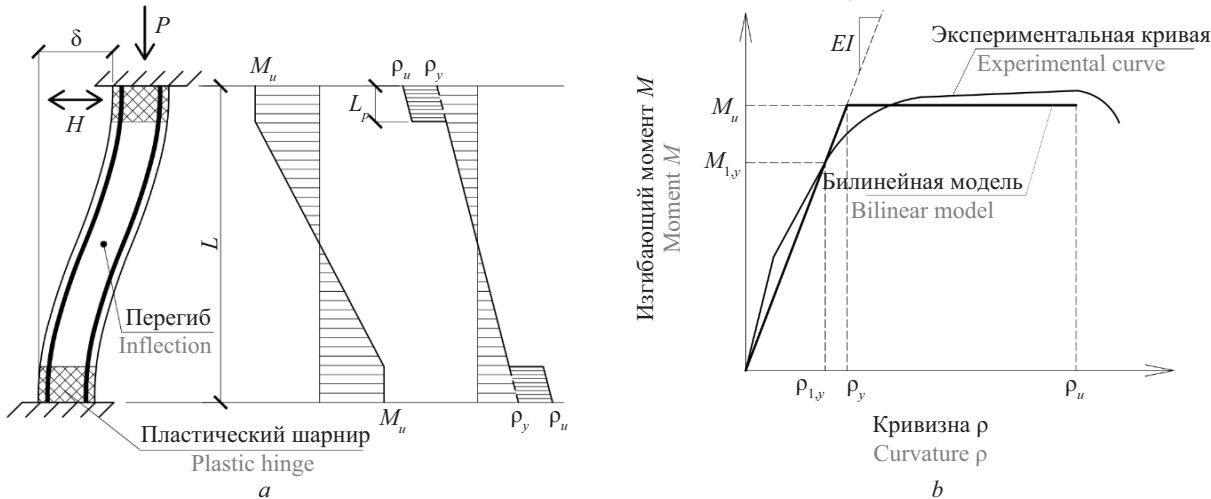


Рис. 1. Расчетная модель колонны рамного каркаса: а — деформированная схема и эпюры усилий в нелинейной стадии; б — билинейная модель деформирования железобетонной колонны в осях «момент — кривизна»

Fig. 1. Calculation model of the frame column: а — deformed diagram and force diagrams in the nonlinear stage; б — bilinear “moment — curvature” model of reinforced concrete column

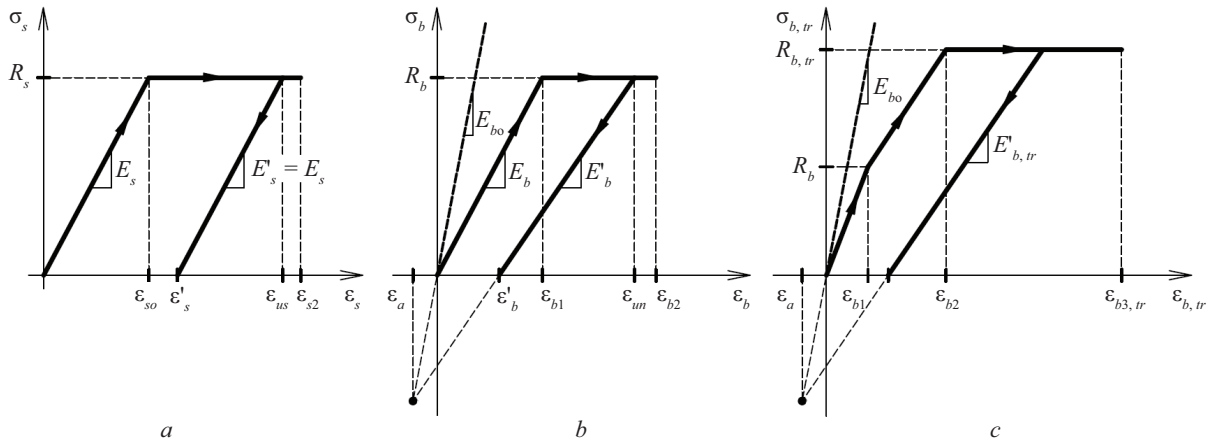


Рис. 2. Диаграммы деформирования: *a* — арматуры; *b* — обычного (неограниченного) бетона; *c* — ограниченного бетона

Fig. 2. Deformation diagrams of: *a* — reinforcement; *b* — normal (unrestricted) concrete; *c* — restricted concrete

рассматривается в наиболее нагруженном сечении в заделке — зона условного пластического шарнира.

Механизм разрушения колонны считаем пластическим при $\xi \leq \xi_R$, т.е. стадия разрушения сечения возникает при достижении в растянутой арматуре предельных напряжений R_s .

Расчетное сечение поврежденной пожаром колонны представим состоящим из n -го числа слоев кольцевой формы, которые прогреты до разной температуры.

Прочностные и деформационные характеристики бетона и арматуры для построения диаграмм деформирования получаются путем умножения их на коэффициенты $\gamma_{bt(st)}$ и $\beta_{b(s)}$ соответственно для расчетных сопротивлений и модулей упругости бетона и арматуры (СП 468.1325800.2019).

Для диаграмм бетона и арматуры введем ветви разгрузки (рис. 2). Как показывают результаты эксперимента [23], при умеренных пластических деформациях жесткость при разгрузке арматурной стали для сжатия и растяжения почти соответствует ее упругой жесткости. В расчетах, проводимых с инженерной точностью, допустимо принять равенство между модулями упругости арматуры при нагружении и разгрузке на всем диапазоне деформирования ($E_s = E_{sc} = E'_s$).

Бетон, ограниченный и неограниченный поперечными хомутами, в силу накопления внутренних повреждений структуры при сжатии, напротив, подчиняется различным закономерностям при нагружении и разгрузке. Для определения модуля деформации бетона при разгрузке может быть использован подход, принятый в работе [24], который показал хорошую корреляцию с широкой экспериментальной базой.

Согласно этому подходу ветвь разгрузки устанавливается условной точкой пересечения ветви нагружения и вертикальной осью, проходящей через эмпирически определяемую относительную деформацию ε_a (см. рис. 2). При этом величина остаточных деформаций после разгрузки бетона $\varepsilon'_{b, tr}$

находится на пересечении оси абсцисс и прямой, проходящей через условную точку и точку начала разгрузки с координатами $(\varepsilon_{un}, \sigma_{un})$. Тогда остаточную деформацию рассчитаем по формуле:

$$\varepsilon'_{b, tr} = \varepsilon_{un} - \frac{R_{b, tr} (\varepsilon_{un} + \varepsilon_a)}{R_{b, tr} + E_{bo} \varepsilon_a}, \quad (3)$$

где $R_{b, tr}$ — расчетное сопротивление ограниченного бетона; E_{bo} — начальный модуль упругости бетона. В данном случае следует различать начальный модуль E_{bo} и приведенный модуль E_b .

Эмпирическая деформация ε_a получена в работе [25], а также обобщена на случай ограниченного бетона [24]:

$$\varepsilon_a = a \sqrt{\varepsilon_{un} \varepsilon_{b3, tr}}, \quad (4)$$

где a — коэффициент:

$$a = \frac{\varepsilon_{b3, tr}}{\varepsilon_{b3, tr} + \varepsilon_{un}}. \quad (5)$$

Ветвь разгрузки для простоты будем считать прямой, а потери энергии, характеризующиеся площадью петли гистерезиса, равными нулю. В соответствии с этим модуль ограниченного бетона при разгрузке составит:

$$E_{b, tr'} = \frac{R_b}{\varepsilon_{un} - \varepsilon_{pl}}. \quad (6)$$

Введем параметры билинейной диаграммы, которая характеризует поведение при нагружении железобетонной колонны. Жесткость при нагружении или эквивалентную жесткость EI_{eff} будем определять в соответствии с подходом, предложенным в работе [26], для поврежденных пожаром элемен-

тов. Подход основан на модели, полученной в публикации [27], в которой эквивалентная жесткость железобетонного элемента характеризует наклон прямой, проходящей через начало отсчета, и точки на экспериментальной кривой, которая соответствует изгибающему моменту при первой текучести $M_{1,y}$ — достижение напряжениями в арматуре предела текучести, либо достижением относительными деформациями в бетоне значения ϵ_{b1} . Эквивалентная жесткость определяется системой уравнений:

$$\begin{cases} EI_{eff} = EI_g \frac{0,45 + 2,5N}{1,2 \sum A_{g,i} R_{b,tr(i)}}; \\ 0,2 \leq EI_{eff} \leq 1, \end{cases} \quad (7)$$

где $A_{g,i}$, $R_{b,tr(i)}$ — площадь и расчетное сопротивление i -го слоя бетона брутто без учета образования трещин в растянутой зоне; d — номинальный диаметр арматуры; h , $a = l/2$ — размер поперечного сечения вдоль плоскости изгибающего момента и расстояние от заделки колонны до точки перегиба ее продольной оси. Жесткость бетонного сечения колонны после пожара EI_g определяется как:

$$EI_g = \sum_i E_{b,i} I_{g,i}, \quad (8)$$

где $E_{b,i}$, $I_{g,i}$ — модуль упругости и момент инерции брутто i -го слоя бетона. Несущую способность железобетонной колонны (предельный изгибающий момент M_u) будем находить из рассмотрения стадии разрушения внецентренно сжатого элемента. На этом этапе сечение бетона можно разделить на две основные зоны: защитный слой и ограниченное бетонное ядро. Защитный слой при этом будет деформироваться как обычный (неограниченный) бетон, ядро работает как ограниченный поперечными хомутами бетон. Стадию разрушения железобетонной колонны свяжем с достижением во всех слоях ядра напряжений, равных расчетному сопротивлению для ограниченного бетона $R_{b,tr(i)}$ при соответствующей температуре (рис. 3, а). Предельные напряжения для ограниченного бетона определяются моментом возникновения текучести в поперечных хомутах, т.е. достижения в них расчетного сопротивления $R_{s,tr}$. Задолго до достижения стадии разрушения бетон защитного слоя достигает предельных напряжений ϵ_{b2} . В силу того, что защитный слой не ограничен поперечными хомутами, происходит его разрушение [28]. Разрушение при этом может проходить не в явном виде, это обосновывается наличием ресурса деформативности бетона за указанный предел на оси разупрочнения и удержанием со сто-

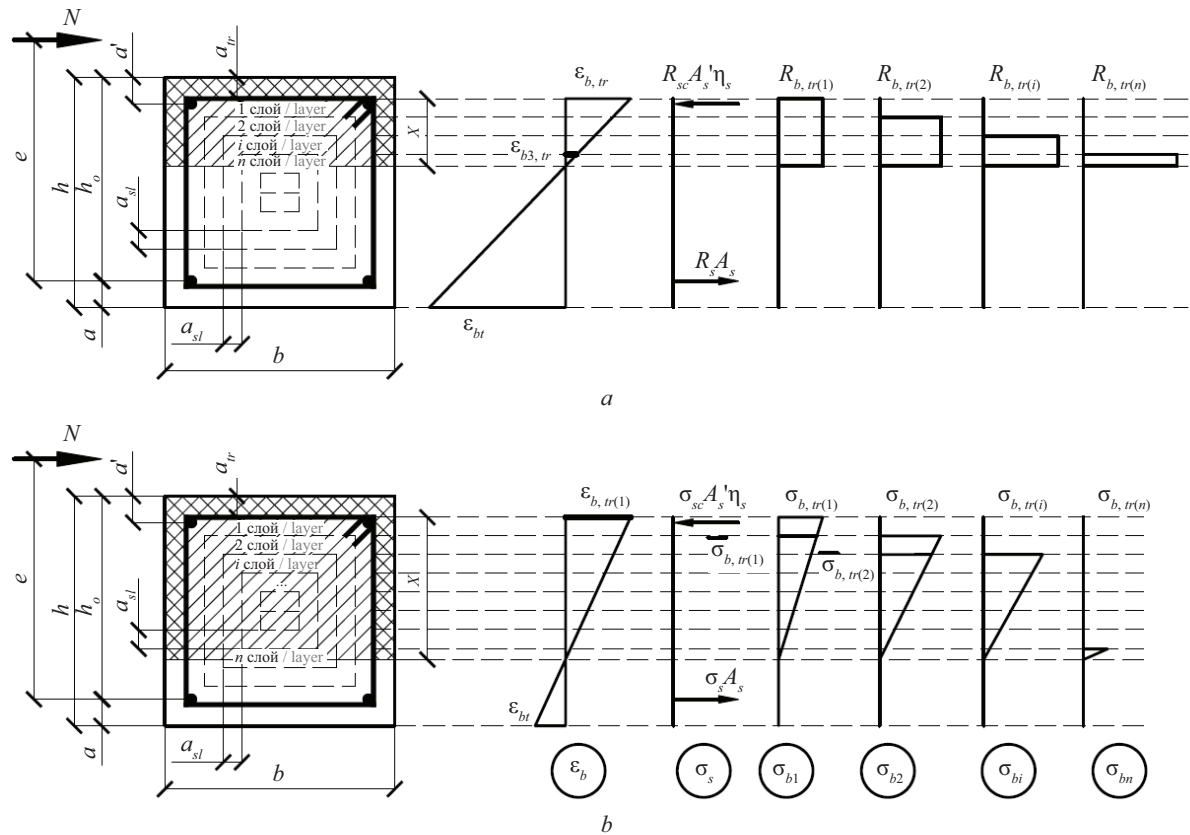


Рис. 3. Схемы распределения напряжений и деформаций (по [21]): а — в стадии разрушения; б — в стадии полной разгрузки
Fig. 3. Diagrams of stress and strain (according to [21]): а — at the fracture stage; б — at the stage of complete unloading

роны соседних менее напряженных участков бетона. Тем не менее доля напряжений, воспринимаемых защитным слоем на этой стадии, будет незначительной, поэтому в дальнейших расчетах ей пренебрегаем.

Предельная кривизна железобетонной колонны ρ_u определяется в соответствии с гипотезой плоских сечений из рассмотрения распределения относительных деформаций в стадии разрушения.

Для установления жесткости железобетонной колонны при разгрузке EI' будем рассматривать стадию НДС сечения при условии, что изгибающий момент $M = 0$.

Изначально для удобства точку разгрузки принимаем в точке на билинейной диаграмме соответствующей стадии разрушения.

Распределение напряжений и деформаций в стадии полной разгрузки показано на рис. 3, б. Напряжения в растянутой σ_s и сжатой σ_{sc} арматуре меньше своих расчетных сопротивлений. При этом напряжения в растянутой арматуре σ_s могут быть и растягивающими, и сжимающими, что уточняется в процессе расчета. Напряжения во всех участках бетона $\sigma_{b,lr(i)}$ распределены по треугольному закону с нулевым значением на нейтральном волокне и во всех точках не превышают расчетного сопротивления.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Определим предельный изгибающий момент M_u . Уравнение суммы проекций сил на продольную ось элемента запишем в виде:

$$N + R_s A_s - R_{sc} A'_s \eta_s - N_b = 0, \quad (9)$$

где $\eta_s = 0 - 1$ — коэффициент, который учитывает уменьшение вклада в несущую способность части арматурных стержней, потерявших устойчивость из-за неэффективного удержания поперечной арматурой на участке свободного изгиба хомута; N_b — результирующая продольная сила, воспринимаемая сжатой зоной бетона в стадии разрушения.

Сила N_b находится суммированием напряжений в n участках сжатой зоны с учетом температуры их прогрева:

$$N_b = R_{b,lr(1)} x (b - 2a_{tr}) + \sum_{i=2}^n \left[(R_{b,lr(i)} - R_{b,lr(i-1)}) \times \{b - 2a_{tr} - 2(i-1)a_{sl}\} \{x - (i-1)a_{sl}\} \right], \quad (10)$$

где $R_{b,lr(i)}$ — прочность ограниченного бетона в i -м слое; a_{tr} — расстояние от грани элемента до поперечных хомутов; a_{sl} — толщина i -го слоя бетона.

Высота сжатой зоны x определяется из формулы (9). При этом, как указывалось выше, должно выполняться условие равенства наибольших деформаций в наименее прогретом n -м слое сжатой зоны предельным деформациям ограниченного бетона при данной температуре:

$$\varepsilon_{b,lr(n)}^{\max} = \varepsilon_{b,lr(n)}. \quad (11)$$

Количество учитываемых слоев n устанавливается итерационно до выполнения равенства (9).

Найдем предельный изгибающий момент M_u относительно центра тяжести с учетом влияния продольного изгиба:

$$M_u = \frac{Ne - N \frac{h_o - a'}{2}}{\eta}, \quad (12)$$

где Ne — момент продольной силы относительно центра тяжести растянутой арматуры; η — коэффициент продольного изгиба.

Момент Ne находится из условия:

$$Ne = R_{sc} A'_s \eta_s (h_o - a') + M_b, \quad (13)$$

где M_b — результирующий изгибающий момент, воспринимаемый сжатой зоной бетона.

Момент M_b определяется по формуле:

$$M_b = M_{b1} + M_{b2}, \quad (14)$$

где

$$M_{b1} = R_{b,lr(1)} x (b - 2a_{tr}) (h_o - a_{tr} - 0,5x); \quad (15)$$

$$M_{b2} = \sum_{i=2}^n \left[(R_{b,lr(i)} - R_{b,lr(i-1)}) \times \{b - 2a_{tr} - 2(i-1)a_{sl}\} \times \{x - (i-1)a_{sl}\} \times (h_o - a_{tr} - (x - (i-1)a_{sl})/2) \right]. \quad (16)$$

В силу малости угла поворота сечения кривизну ρ_u найдем по формуле:

$$\rho_u = \frac{\varepsilon_{b,lr(n)}}{x - (n-1)a_{sl}}, \quad (17)$$

где $\varepsilon_{b,lr(n)}$ — предельные относительные деформации для наименее прогретого n -го слоя сжатой зоны.

Далее определим жесткость железобетонной колонны при разгрузке EI' . Запишем уравнение равновесия проекций всех сил на продольную ось элемента для стадии полной разгрузки:

$$N + \sigma_s A_s - \sigma_{sc} A'_s \eta_s - N'_b = 0, \quad (18)$$

где N'_b — результирующая продольная сила, воспринимаемая сжатой зоной бетона в стадии полной разгрузки.

Сила N_b находится суммированием напряжений в n участках сжатой зоны с учетом температуры их прогрева:

$$N_b = \frac{1}{2} \sigma_{b,tr(1)} x (b - 2a_{tr}) + \frac{1}{2} \sum_{i=2}^n [(\sigma_{b,tr(i)} - \sigma_{b,tr(i-1)}) \times \times \{b - 2a_{tr} - 2(i-1)a_{sl}\} \{x - (i-1)a_{sl}\}]. \quad (19)$$

Заметим, что напряжения $\sigma_{b,tr(1)}, \sigma_{b,tr(2)}, \dots, \sigma_{b,tr(i)}, \dots, \sigma_{b,tr(n)}$ линейно связаны между собой. Рассмотрим зависимость между максимальными напряжениями на соседних слоях бетона. Ввиду равенства деформаций для разных слоев, которые находятся на одном волокне, получим:

$$\bar{\sigma}_{b,tr(i)} = \frac{E'_{b,tr(i)}}{E'_{b,tr(i-1)}} \sigma_{b,tr(i-1)}. \quad (20)$$

Из геометрических построений на рис. 3, b следует:

$$\sigma_{b,tr(i)} = \frac{x - (i-1)a_{sl}}{x - (i-2)a_{sl}} \bar{\sigma}_{b,tr(i-1)}. \quad (21)$$

Принимая во внимание формулы (20) и (21), получим искомую зависимость:

$$\sigma_{b,tr(i)} = \frac{E'_{b,tr(i)}}{E'_{b,tr(i-1)}} \frac{x - (i-1)a_{sl}}{x - (i-2)a_{sl}} \sigma_{b,tr(i-1)}. \quad (22)$$

Проводя последовательную подстановку в формулу (22) величин для разных слоев бетона, убедимся, что максимальные напряжения для каждого из n участков бетона можно выразить через соответствующие напряжения для первого слоя. Имеем:

$$\sigma_{b,tr(i)} = \omega_i \sigma_{b,tr(1)}, \quad (23)$$

где ω_i — коэффициент перехода от напряжений в первом слое бетона к напряжениям в i -м слое:

$$\omega_i = \frac{E'_{b,tr(i)}}{E'_{b,tr(1)}} \frac{x - (i-1)a_{sl}}{x}. \quad (24)$$

С учетом выражения (23) преобразуем формулу (19):

$$N_b = \frac{1}{2} \sigma_{b,tr(1)} x (b - 2a_{tr}) + \frac{1}{2} \Omega_{tr} \sigma_{b,tr(1)} \times \times \sum_{i=2}^n [\{b - 2a_{tr} - 2(i-1)a_{sl}\} \{x - (i-1)a_{sl}\}], \quad (25)$$

где

$$\Omega_{tr} = \frac{E_{b,tr(n)} [x - (n-1)a_{sl}]}{E'_{b,tr(1)} x} - 1. \quad (26)$$

Аналогично условию (13) запишем уравнение для определения момента $(Ne)'$:

$$(Ne)' = \sigma_{sc} A'_s \eta_s (h_o - a') + M'_b, \quad (27)$$

где

$$M'_b = M'_{b1} + M'_{b2}; \quad (28)$$

$$M'_{b1} = \frac{1}{2} \sigma_{b,tr(1)} x (b - 2a_{tr}) (h_o - a_{tr} - 0,5x); \quad (29)$$

$$M'_{b2} = \frac{1}{2} \Omega_{tr} \sigma_{b,tr(1)} \sum_{i=2}^n [\{b - 2a_{tr} - 2(i-1)a_{sl}\} \times \times \{x - (i-1)a_{sl}\} \{h_o - a_{tr} - (x - (i-1)a_{sl})/3\}]. \quad (30)$$

Момент $(Ne)'$ получим с учетом формулы (12) при $M = 0$.

В итоге для двух уравнений (17) и (27) имеем четыре неизвестные ($\sigma_{b,tr(1)}, \sigma_s, \sigma_{sc}, x$). Используя принцип плоских сечений, исключим две лишние неизвестные:

$$\sigma_{sc} = \sigma_{b,tr(1)} \frac{E_s (x - 0,5d)}{xE'_{b,tr(1)}}, \quad (31)$$

$$\sigma_s = \sigma_{b,tr(1)} \frac{E_s (h_o - a_{tr} - x)}{xE'_{b,tr(1)}}. \quad (32)$$

Остаточная кривизна после разгрузки ρ' может быть определена, например, из условия:

$$\rho' = \frac{\sigma_{b,tr(1)}}{E'_{b,tr(1)} x}. \quad (33)$$

Жесткость железобетонной колонны после пожара EI' с учетом вышеописанного может быть найдена по формуле:

$$EI' = \frac{M_u}{\rho_u - \rho'}. \quad (34)$$

Заметим, что количество слоев n , как и в случае рассмотрения стадии разрушения, определяется итерационно до выполнения условия (18).

Используя полученные выше зависимости, проведем численное сравнение жесткостных характеристик трех железобетонных колонн при разгрузке. Колонны предварительно подвергнуты стандартному огневому воздействию по ISO 834 с четырех сторон. Одна из колонн считается не поврежденной пожаром, продолжительность пожара для двух

оставшихся колонн 30 и 60 мин. Температура на наружной поверхности колонн устанавливается следующей зависимостью:

$$T = 345 \lg(0,133\tau + 1) + T_e, \quad (35)$$

где τ — время нагрева, мин; T_e — начальная температура.

Все колонны имеют сечение размером $b = h = 300$ мм, остальные геометрические характеристики приведены на рис. 4, а. Бетон колонн имеет класс В20.

Арматура колонн А500: продольное армирование из четырех стержней диаметром $\varnothing 25$ мм ($A_s = A'_s = 982 \text{ мм}^2$), поперечное армирование из часто расположенных замкнутых хомутов диаметром $\varnothing 8$ мм с шагом $s_w = 100$ мм (коэффициент поперечного армирования по объему $\rho_s = 0,005$). Всю арматуру считаем эффективно раскрепленной от потери устойчивости $\eta_s = 1$.

Расчетная схема колонн представляет собой консоль, геометрическая высота которой равна $L = 1,5$ м. Тогда расчетная длина составит $l_0 = 2L = 3$ м.

Распределение температурных полей по сечению элементов определяется расчетом в ПК SCAD Office. Теплотехнический расчет проводится путем решения дифференциальных уравнений Фурье в конечно-элементной постановке. Результаты теплотехнического расчета приведены на рис. 4, б, с.

Далее сечение колонны разбивается на отдельные слои толщиной $a_{sl} = 25$ мм. Температура в каждом слое считается постоянной и устанавливается как среднее между максимальным и минимальным значениями температур по результатам расчета в ПК SCAD Office. Механические характеристики бетона и арматуры определяются в зависимости от температуры прогрева данного слоя посредством введения коэффициентов к расчетным сопротивлениям, отно-

сительным деформациям и модулям упругости — коэффициенты $\gamma_{b(sl)}$ и $\beta_{b(s)}$ по СП 468.1325800.2019.

Прочность ограниченного бетона $R_{b,tr}$ находится по зависимостям, предложенным в работе [24]:

$$R_{b,tr} = R_b + 4,1R_e. \quad (36)$$

Эффективное боковое давление R_e для квадратного сечения найдем по формуле:

$$R_e = k_e \rho_s R_{s,tr}, \quad (37)$$

где k_e — коэффициент эффективности удержания, который учитывает неравномерное обжатие бетона в сечениях, отличных от круглого; $R_{s,tr}$ — предел текучести поперечной арматуры.

Величина продольной силы принята равной $N = 300$ кН.

По формулам, полученным в настоящей работе, выполняется построение диаграмм в осях «момент M — кривизна ρ ». После достижения стадии разрушения строится ось разгрузки железобетонной колонны до достижения нулевого изгибающего момента $M = 0$ (см. рис. 5).

По полученным результатам устанавливается общая энергия, рассеиваемая на цикле нагружения, которая численно равна площади петли, образуемой диаграммой и осью абсцисс. Рассеиваемая энергия определяется по формуле:

$$W = \frac{M_u (\rho_u - \rho_y + \rho')}{2}, \quad (38)$$

где ρ_u — кривизна, соответствующая точке перегиба билинейной диаграммы.

Результаты расчета объединены в таблице.

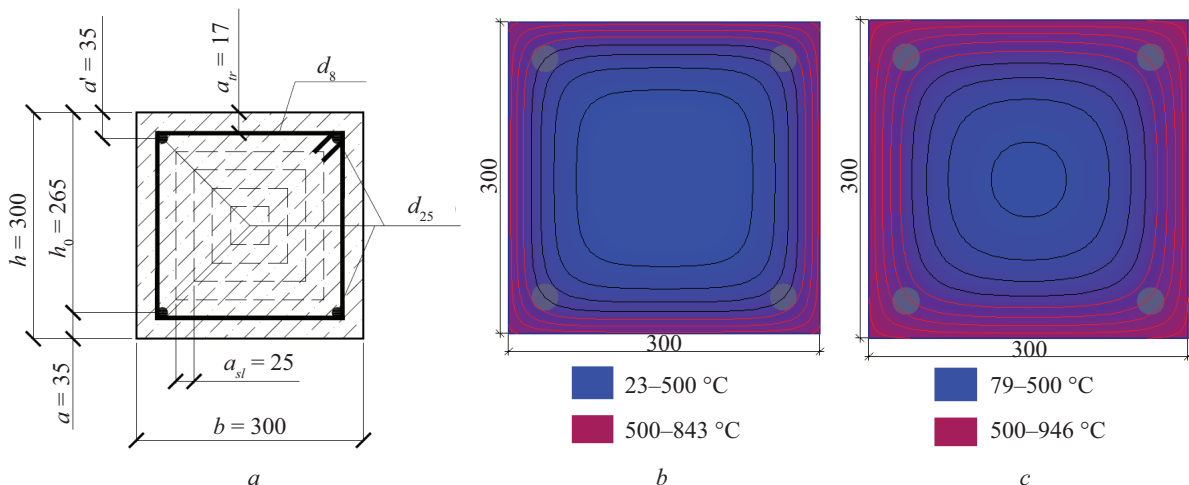


Рис. 4. Результаты теплотехнического расчета: а — расчетное сечение колонны; б — температурные поля в сечении после стандартного пожара (ISO 834) продолжительностью 30 мин; с — температурные поля в сечении после стандартного пожара (ISO 834) продолжительностью 60 мин

Fig. 4. Results of thermotechnical calculations: а — section of the column; б — temperature fields in the section after a standard fire (ISO 834) lasting 30 min; с — temperature fields in the section after a standard fire (ISO 834) lasting 60 min

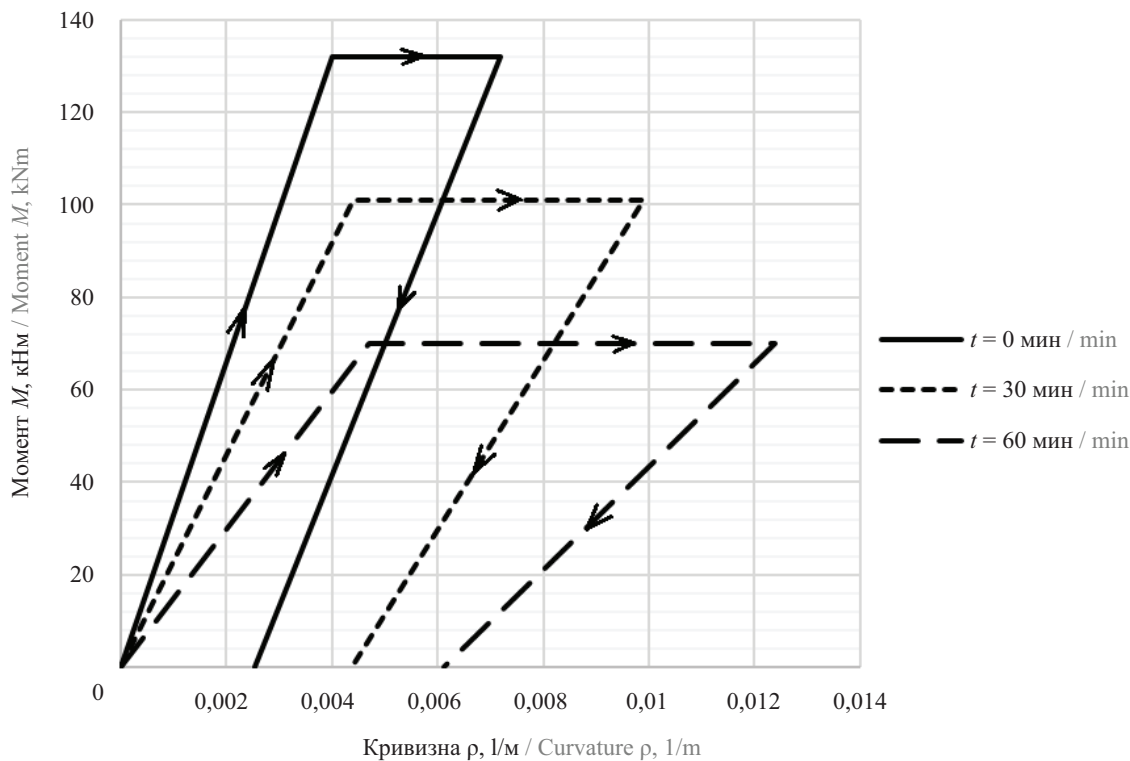


Рис. 5. Результаты расчета по предлагаемой билинейной модели при различной продолжительности стандартного пожара (ISO 834), мин

Fig. 5. Calculation results of the proposed bilinear model for different duration of a standard fire (ISO 834), min

Результаты расчета по билинейной модели (при $N = 300$ кН)

Results of calculation by bilinear model (at $N = 300$ kN)

Параметр Parameter	Формула Formula	Продолжительность стандартного пожара по ISO 834 Standard fire time according to ISO 834		
		0 мин 0 min	30 мин 30 min	60 мин 60 min
Эффективная жесткость EI_{eff} , МПа Effective stiffness EI_{eff} , MPa	(7)	33,15	23,11	15,46
Предельный момент M_u , кН·м Ultimate moment M_u , kN·m	(12)	132,33	101,12	70,66
Кривизна перегиба ρ_v , м ⁻¹ Inflection curvature ρ_v , m ⁻¹	M_u/EI_{eff}	0,0041	0,0044	0,0047
Предельная кривизна ρ_u , м ⁻¹ Ultimate curvature ρ_u , m ⁻¹	(17)	0,0072	0,0099	0,0124
Остаточная кривизна ρ' , м ⁻¹ Residual curvature ρ' , m ⁻¹	(33)	0,0025	0,0043	0,0061
Жесткость разгрузки EI' , МПа Unloading stiffness EI' , MPa	(34)	28,35	18,26	11,15
Рассеиваемая энергия W , Н Dissipated energy W , N	(38)	379,10	498,37	483,77

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Из полученных билинейных диаграмм видно, что железобетонные колонны, предварительно подвергнутые стандартному огневому воздействию, обладают меньшей несущей способностью M_u и эф-

фективной жесткостью EI_{eff} чем контрольная колонна. Пластические свойства обожженных колонн, напротив, увеличиваются, что следует из больших значений предельной кривизны ρ_u .

Жесткость при разгрузке EI' для всех колонн оказалась меньше начальной эффективной жестко-

сти EI_{eff} . Причем при увеличении времени огневого воздействия уменьшение жесткости EI' более явно: для необожженной колонны EI' оно составило около 86 % от начальной жесткости, для колонны после 30 мин пожара — 79 % и для колонны после 60 мин пожара — 72 %.

Такое снижение жесткостных характеристик при разгрузке обосновано, прежде всего, накоплением повреждений в бетонном ядре, а также выключением из работы бетона защитного слоя.

Колонны, поврежденные пожаром, по результатам расчета обладают большими диссипативными свойствами, о чем говорит увеличение рассеиваемой энергии W на цикле с ростом продолжительности огневого воздействия. Причем роста W при переходе от стандартного огневого воздействия продолжительностью 30 мин к 60 мин не происходит, наоборот, наблюдается даже незначительное уменьшение. Рассеиваемая энергия по отношению к стандартной железобетонной колонне увеличилась примерно в 1,3 раза. Этот процесс вызван повышением доли пластических деформаций для поврежденных колонн.

На основании приведенных результатов можно сделать вывод, что поврежденный пожаром в каком-либо отсеке железобетонный рамный каркас будет демонстрировать гораздо более высокие амплитуды колебаний при сейсмическом воздействии. Такое поведение, помимо дополнительного перераспределения усилий на неповрежденные пожаром элементы, может спровоцировать разрушение не несущих конструкций ограждений и перегородок, которые проектировались на гораздо меньшие величины поэтажных сдвигов.

Полученные в данной работе зависимости позволяют провести оценку жесткости железобетонных колонн при разгрузке после стандартного пожара различной продолжительности. Преимуществом

предложенного подхода является возможность его применения в инженерных расчетах аналитическими (численно-аналитическими) методами, не прибегая к трудоемкому конечно-элементному моделированию. При этом метод обладает достаточной точностью, поскольку основан на непосредственном рассмотрении распределения напряжений и деформаций в сечении элемента.

Стоит отметить, что в условиях сейсмических нагрузок элементы здания испытывают симметричные или близкие к ним малоцикловые воздействия. Сжатая и растянутая зоны сечений элементов попеременно меняются местами. В таком случае дальнейшим направлением в развитии предлагаемой модели служит учет не только разгрузки железобетонной колонны, но и последующего нагружения в обратном направлении.

Поведение колонны при обратном нагружении будет обладать специфическими свойствами, поскольку трещины в растянутой зоне на начальном этапе приложения нагрузки все еще находятся в раскрытом состоянии, что приводит к уменьшению жесткости. После закрытия трещин жесткость колонны резко возрастает. Графически это будет выражаться в сплющивании гистерезисной диаграммы деформирования по диагонали, проходящей через второй и четвертый квадранты. Данный процесс называется эффектом защемления или pinching-эффектом [13].

При нагружении элемента в течение более одного цикла будет возникать деградация жесткостных и прочностных характеристик [19]. Таким образом, общая способность каркаса эффективно воспринимать и перераспределять сейсмические нагрузки с каждым циклом падает. При будущем развитии предложенного подхода следует учитывать процесс деградации механических характеристик.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Tamrazyan A.G., Avetisyan L.A. Behavior of compressed reinforced concrete columns under thermodynamic influences taking into account increased concrete deformability // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 365. P. 052034. DOI: 10.1088/1757-899X/365/5/052034
2. Савин С.Ю., Колчунов В.И., Федорова Н.В. Несущая способность железобетонных внецентренно сжатых элементов каркасов зданий при коррозионных повреждениях в условиях особых воздействий // Железобетонные конструкции. 2023. Т. 1. № 1. С. 46–54. EDN RHHWVO.
3. Tamrazyan A., Chernik V. Equivalent viscous damping ratio for a RC column under seismic load after a fire // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1030. Issue 1. P. 012095. DOI: 10.1088/1757-899X/1030/1/012095
4. Demir U., Goksu C., Binbir E., Ilki A. Impact of time after fire on post-fire seismic behavior of RC columns // Structures. 2020. Vol. 26. Pp. 537–548. DOI: 10.1016/j.istruc.2020.04.049
5. Li L.-Z., Liu X., Yu J.-T., Lu Z.-D., Su M.-N., Liao J.-H. et al. Experimental study on seismic performance of post-fire reinforced concrete frames // Engineering Structures. 2019. Vol. 179. Pp. 161–173. DOI: 10.1016/j.engstruct.2018.10.080
6. Xiao J.-Z., Li J., Huang Z.-F. Fire response of high-performance concrete frames and their post-fire seismic performance // ACI Structural Journal. 2008. Vol. 105. Issue 5. DOI: 10.14359/19936

7. Xu Y., Chen Y., Yan B., Zheng Y., Luo Y. Post-fire seismic behaviors of concrete stub columns indifferent fire exposure cases // *Journal of Vibration and Shock*. 2020. Issue 18. Pp. 11–19. DOI: 10.13465/j.cnki.jvs.2020.18.002
8. Ioannou I., Rossetto T., Rush D., Melo J. Simplified model for pre-code RC column exposed to fire followed by earthquake // *Scientific Reports*. 2022. Vol. 12. Issue 1. DOI: 10.1038/s41598-022-13188-z
9. Melo J., Triantafyllidis Z., Rush D., Bisby L., Rossetto T., Arède A. et al. Cyclic behaviour of as-built and strengthened existing reinforced concrete columns previously damaged by fire // *Engineering Structures*. 2022. Vol. 266. P. 114584. DOI: 10.1016/j.engstruct.2022.114584
10. Liu L., Xiao J. Simulation on seismic performance of the post-fire precast concrete column with grouted sleeve connections // *Structural Concrete*. 2023. Vol. 24. Issue 3. Pp. 3299–3313. DOI: 10.1002/suco.202200663
11. Tamrazyan A., Matseevich T. The Criteria for Assessing the Safety of Buildings with a Reinforced Concrete Frame during an Earthquake after a Fire // *Buildings*. 2022. Vol. 12. Issue 10. P. 1662. DOI: 10.3390/buildings12101662
12. Тамразян А.Г., Черник В.И. Учет последствий пожара при проектировании железобетонных зданий в сейсмоопасных районах // XIV Рос. нац. конф. по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию (с междунар. участием) : сб. мат. 2021. С. 114–117. DOI: 10.37153/2687-0045-2021-14-114-117
13. Sengupta P., Li B. Hysteresis modeling of reinforced concrete structures: State of the art // *ACI Structural Journal*. 2016. Vol. 114. Issue 1. DOI: 10.14359/51689422
14. Veletsos A.S., Newmark N.M., Chelapati C.V. Deformation spectra for elastic and elastoplastic systems subjected to ground shock and earthquake motions // *Proceedings of 3rd World Conference on Earthquake Engineering*. 1965.
15. Clough R.W., Johnston S.B. Effect of stiffness degradation on earthquake ductility requirements // *Proceedings of 2nd Japan National Conference on Earthquake Engineering*. 1966.
16. Mahoney M. Effects of strength and stiffness degradation on seismic response // FEMA P440A. 2009.
17. Takeda T., Sozen M.A., Nielson N.N. Reinforced concrete response to simulated earthquakes // *Journal of the Structural Division*. 1970. Vol. 96. Issue 12. Pp. 2557–2573. DOI: 10.1061/JSDEAG.0002765
18. Imbeault F.A., Nielsen N.N. Effect of degrading stiffness on the response of multistory frames subjected to earthquakes // *Proceedings of 5th World Conference on Earthquake Engineering*. 1973. Pp. 1756–1765.
19. Dowell R.K., Seible F., Wilson E.L. Pivot hysteresis model for reinforced concrete members // *ACI Structural Journal*. 1998. Vol. 95. Issue 5. DOI: 10.14359/575
20. Ibarra L.F., Medina R.A., Krawinkler H. Hysteretic models that incorporate strength and stiffness deterioration // *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*. 2005. Vol. 34. Issue 12. Pp. 1489–1511. DOI: 10.1002/eqe.495
21. Тамразян А.Г., Черник В.И., Мацевич Т.А., Манаенков И.К. Аналитическая модель деформирования железобетонных колонн на основе механики разрушения // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. 2022. Т. 18. № 6. С. 573–583. DOI: 10.22363/1815-5235-2022-18-6-573-583
22. Алексейцев А.В. Анализ устойчивости железобетонной колонны при горизонтальных ударных воздействиях // *Железобетонные конструкции*. 2023. Т. 2. № 2. С. 3–12. DOI: 10.22227/2949-1622.2023.2.3-12
23. Kunnath S.K., Heo Y.A., Mohle J.F. Nonlinear uniaxial material model for reinforcing steel bars // *Journal of Structural Engineering*. 2009. Vol. 135. Issue 4. Pp. 335–343. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9445(2009)135:4(335)
24. Mander J.B., Priestley J.N., Park R. Theoretical stress-strain model for confined concrete // *Journal of Structural Engineering*. 1988. Vol. 114. Pp. 1804–1826. DOI: 10.1061/(asce)0733-9445(1988)114:8(1804)
25. Takiguchi K., Kokusho S., Kobayashi K. Analysis of reinforced concrete sections subjected to bi-axial bending moments // *Transactions of the Architectural Institute of Japan*. 1976. Vol. 250. Issue 0. Pp. 1–8. DOI: 10.3130/aijsaxx.250.0_1
26. Черник В.И. Эффективная жесткость железобетонных колонн после пожара // *Перспективы науки*. 2022. № 5 (152). С. 88–92. EDN RTKIBE.
27. Elwood K.J., Eberhard M.O. Effective stiffness of reinforced concrete columns // *ACI Structural Journal*. 2009. Vol. 106. Issue 4. DOI: 10.14359/56613
28. Moehle J. Seismic design of reinforced concrete buildings. 2014.

Поступила в редакцию 7 апреля 2023 г.

Принята в доработанном виде 3 июня 2023 г.

Одобрена для публикации 3 июня 2023 г.

ОБ АВТОРАХ: Ашот Георгиевич Тамразян — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой железобетонных и каменных конструкций; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 447901, ResearcherID: T-1253-2017, Scopus: 55975413900, ORCID: 0000-0003-0569-4788; tamrazian@mail.ru;

Владимир Игоревич Черник — преподаватель кафедры железобетонных и каменных конструкций;
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ);
129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 1091685, ResearcherID: AAD-8260-2022, Scopus:
57218420224, ORCID: 0000-0001-6240-9993; chernik_vi@mail.ru.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Tamrazyan A.G., Avetisyan L.A. Behavior of compressed reinforced concrete columns under thermodynamic influences taking into account increased concrete deformability. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018; 365:052034. DOI: 10.1088/1757-899X/365/5/052034
2. Savin S.Yu., Kolchunov V.I., Fedorova N.V. Ductility of eccentrically compressed elements of RC frame damaged by corrosion under accidental impacts. *Reinforced concrete structures*. 2023; 1(1):46-54. EDN RHWVVO. (rus.).
3. Tamrazyan A., Chernik V. Equivalent viscous damping ratio for a RC column under seismic load after a fire. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021; 1030(1):012095. DOI: 10.1088/1757-899X/1030/1/012095
4. Demir U., Goksu C., Binbir E., Ilki A. Impact of time after fire on post-fire seismic behavior of RC columns. *Structures*. 2020; 26:537-548. DOI: 10.1016/j.istruc.2020.04.049
5. Li L.-Z., Liu X., Yu J.-T., Lu Z.-D., Su M.-N., Liao J.-H. et al. Experimental study on seismic performance of post-fire reinforced concrete frames. *Engineering Structures*. 2019; 179:161-173. DOI: 10.1016/j.engstruct.2018.10.080
6. Xiao J.-Z., Li J., Huang Z.-F. Fire response of high-performance concrete frames and their post-fire seismic performance. *ACI Structural Journal*. 2008; 105(5). DOI: 10.14359/19936
7. Xu Y., Chen Y., Yan B., Zheng Y., Luo Y. Post-fire seismic behaviors of concrete stub columns indifferent fire exposure cases. *Journal of Vibration and Shock*. 2020; 18:11-19. DOI: 10.13465/j.cnki.jvs.2020.18.002
8. Ioannou I., Rossetto T., Rush D., Melo J. Simplified model for pre-code RC column exposed to fire followed by earthquake. *Scientific Reports*. 2022; 12(1). DOI: 10.1038/s41598-022-13188-z
9. Melo J., Triantafyllidis Z., Rush D., Bisby L., Rossetto T., Arède A. et al. Cyclic behaviour of as-built and strengthened existing reinforced concrete columns previously damaged by fire. *Engineering Structures*. 2022; 266:114584. DOI: 10.1016/j.engstruct.2022.114584
10. Liu L., Xiao J. Simulation on seismic performance of the post-fire precast concrete column with grouted sleeve connections. *Structural Concrete*. 2023; 24(3):3299-3313. DOI: 10.1002/suco.202200663
11. Tamrazyan A., Matseevich T. The criteria for assessing the safety of buildings with a reinforced concrete frame during an earthquake after a fire. *Buildings*. 2022; 12(10):1662. DOI: 10.3390/buildings12101662
12. Tamrazyan A.G., Chernik V.I. Consideration of the effects of fire in the design of reinforced concrete buildings in earthquake-prone areas. *XIV Russian National Conference on Earthquake Engineering and Seismic Zoning (with international participation)*. 2021; 114-117. DOI: 10.37153/2687-0045-2021-14-114-117 (rus.).
13. Sengupta P., Li B. Hysteresis modeling of reinforced concrete structures: State of the art. *ACI Structural Journal*. 2016; 114(1). DOI: 10.14359/51689422
14. Veletsos A.S., Newmark N.M., Chelapati C.V. Deformation spectra for elastic and elastoplastic systems subjected to ground shock and earthquake motions. *Proceedings of 3rd World Conference on Earthquake Engineering*. 1965.
15. Clough R.W., Johnston S.B. Effect of stiffness degradation on earthquake ductility requirements. *Proceedings of 2nd Japan National Conference on Earthquake Engineering*. 1966.
16. Mahoney M. Effects of strength and stiffness degradation on seismic response. *FEMA P440A*. 2009.
17. Takeda T., Sozen M.A., Nielson N.N. Reinforced concrete response to simulated earthquakes. *Journal of the Structural Division*. 1970; 96(12):2557-2573. DOI: 10.1061/JSDEAG.0002765
18. Imbeault F.A., Nielsen N.N. Effect of degrading stiffness on the response of multistory frames subjected to earthquakes. *Proceedings of 5th World Conference on Earthquake Engineering*. 1973; 1756-1765.
19. Dowell R.K., Seible F., Wilson E.L. Pivot hysteresis model for reinforced concrete members. *ACI Structural Journal*. 1998; 95(5). DOI: 10.14359/575
20. Ibarra L.F., Medina R.A., Krawinkler H. Hysteretic models that incorporate strength and stiffness deterioration. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*. 2005; 34(12):1489-1511. DOI: 10.1002/eqe.495
21. Tamrazyan A.G., Chernik V.I., Matseevich T.A., Manaenkov I.K. Analytical model of deformation of reinforced concrete columns based on fracture mechanics. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2022; 18(6):573-583. DOI: 10.22363/1815-5235-2022-18-6-573-583 (rus.).
22. Alekseytsev A.V. Stability of the RC Column under horizontal impacts. *Reinforced Concrete*

Structures. 2023; 2(2):3-12. DOI: 10.22227/2949-1622.2023.2.3-12 (rus.).

23. Kunnath S.K., Heo Y.A., Mohle J.F. Nonlinear uniaxial material model for reinforcing steel bars. *Journal of Structural Engineering*. 2009; 135(4):335-343. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9445(2009)135:4(335)

24. Mander J.B., Priestley J.N., Park R. Theoretical stress-strain model for confined concrete. *Journal of Structural Engineering*. 1988; 114:1804-1826. DOI: 10.1061/(asce)0733-9445(1988)114:8(1804)

25. Takiguchi K., Kokusho S., Kobayashi K. Analysis of reinforced concrete sections subjected to bi-

axial bending moments. *Transactions of the Architectural Institute of Japan*. 1976; 250(0):1-8. DOI: 10.3130/aijsaxx.250.0_1

26. Chernik V.I. Effective stiffness of reinforced concrete columns after a fire. *Science Prospects*. 2022; 5(152):88-92. EDN RTKIBE. (rus.).

27. Elwood K.J., Eberhard M.O. Effective stiffness of reinforced concrete columns. *ACI Structural Journal*. 2009; 106(4). DOI: 10.14359/56613

28. Moehle J. *Seismic Design of Reinforced Concrete Buildings*. 2014.

Received April 7, 2023.

Adopted in revised form on June 3, 2023.

Approved for publication on June 3, 2023.

B I O N O T E S: **Ashot G. Tamrazyan** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 447901, ResearcherID: T-1253-2017, Scopus: 55975413900, ORCID: 0000-0003-0569-4788; tamrazian@mail.ru;

Vladimir I. Chernik — Lecturer of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 1091685, ResearcherID: AAD-8260-2022, Scopus: 57218420224, ORCID: 0000-0001-6240-9993; chernik_vi@mail.ru.

Contribution of the authors: all authors made equivalent contributions to the publication.

The authors declare that there is no conflict of interest.

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 624.154.1

DOI: 10.22227/1997-0935.2023.9.1383-1393

Моделирование статически нагруженной одиночной сваи с учетом нелинейности грунта оснований

Филипп Сергеевич Школяр, Дарья Владимировна Рогозинникова
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ);
г. Санкт-Петербург, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Моделирование работы свайных фундаментов в современных программных комплексах (ПК) зачастую проводится в линейной постановке задачи и с применением коэффициентов, завышающих в несколько раз результаты осадок свайных фундаментов. Такой подход приводит к значительному перерасходу материалов и завышению сметной стоимости строящегося объекта. В современных реалиях проектировщики сталкиваются с проблемой моделирования расчетной ситуации, наиболее приближенной к реальной работе сваи в грунте, а поскольку грунт основания — неоднородная среда, расчет должен выполняться нелинейно, что трудоемко в ПК. Осуществляется численное сравнение натурных испытаний одиночной сваи под статической нагрузкой и расчет в ПК с учетом нелинейности грунтов основания.

Материалы и методы. Расчеты проводятся в конечно-элементном ПК ЛИРА-САПР при помощи моделирования расчетной схемы объемными конечными элементами. Анализируется изменение осадки свай в различных грунтах при ступенчатой нагрузке.

Результаты. Произведен численный эксперимент изменения осадки одиночной сваи с использованием объемной конечно-элементной модели с заданной физической нелинейностью грунта. Выполнено сравнение полученных результатов проведенного численного эксперимента с результатами натурного эксперимента.

Выводы. Результаты исследования показывают большое расхождение между осадками свай по натурным испытаниям и результатам расчетов по СП 24.13330.2021. При помощи современных ПК существует возможность проведения более точных расчетов. Однако введение поправочных коэффициентов может приблизить расчетную ситуацию в соответствии с нормативными документами к более реальным условиям деформирования грунтов оснований в процессе предварительного выбора.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: одиночная свая, осадка, жесткость, основание, конечный элемент, характеристики грунта, напряженно-деформированное состояние

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Школяр Ф.С., Рогозинникова Д.В. Моделирование статически нагруженной одиночной сваи с учетом нелинейности грунта оснований // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. Вып. 9. С. 1383–1393. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.9.1383-1393

Автор, ответственный за переписку: Дарья Владимировна Рогозинникова, dar2504@yandex.ru.

Modelling of statically loaded single pile taking into account nonlinearity of foundation soil

Filipp S. Shkoliar, Darya V. Rogozinnikova

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (SPbPU); St. Petersburg, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Modelling of pile foundations in modern software packages (PC) is often carried out in a linear formulation of the problem and with the use of coefficients that overestimate the results of pile foundations by several times. This approach leads to significant overconsumption of materials and overestimation of the estimated cost of the object under construction. In modern realities, designers are faced with the problem of modelling the design situation, which is closest to the real operation of the pile in the ground, and since the foundation soil is a heterogeneous medium, the calculation must be carried out non-linearly, which is quite time-consuming in software packages. A numerical comparison of full-scale tests of a single pile under static load and calculation in a software package, taking into account the nonlinearity of the foundation soils, is carried out.

Materials and methods. The calculations are carried out in the finite element software package LIRA-CAD by modelling the design scheme with volumetric finite elements. The change in the settlement of piles in different soils under step load is analyzed.

Results. Numerical experiment of change in the settlement of a single pile using a volumetric finite element model with a given physical nonlinearity of the soil was performed. The obtained results of the numerical experiment are compared with the results of the full-scale experiment.

Conclusions. The results of the study show a large discrepancy between the settlements of piles according to field tests and the results of calculations according to SP 24.13330.2021. With the help of modern software packages, it is possible to

carry out more accurate calculations. However, the introduction of correction coefficients can bring the calculated situation according to regulatory documents closer to more real conditions of deformation of the foundation soils in the process of preliminary selection.

KEYWORDS: single pile, settlement, stiffness, foundation, finite element, soil characteristics, stress-strain state

FOR CITATION: Shkoliar F.S., Rogozinnikova D.V. Modelling of statically loaded single pile taking into account nonlinearity of foundation soil. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2023; 18(9):1383-1393. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.9.1383-1393 (rus.).

Corresponding author: Darya V. Rogozinnikova, dar2504@yandex.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Перед строительной отраслью сегодня, как и во все времена, стоит задача реализовать тот или иной проект за минимально короткие сроки и вложенные средства. Процесс проектирования начинается с изыскательских работ, которые позволяют определить оптимальные конструктивные решения для реализации объекта капитального строительства.

Немаловажную роль в этой работе играет выбор конструкций фундаментов. На территории г. Санкт-Петербурга для нового строительства зачастую используются свайные фундаменты в связи с тем, что в геологическом строении участка присутствуют слабые грунты, на которых из-за их физико-механических характеристик не удастся реализовать устройство фундамента на естественном основании. Часто новые территории, разрабатываемые в Санкт-Петербурге, содержат в своем геологическом строении глинистые грунты с показателем текучести $I_L > 0,6$. По требованиям СП 24.13330.2021 не рекомендуется опирать нижний конец свай на данные грунты, что приводит к применению проектировщиками более длинных свай и соответственно перерасходу материалов. Проведение натурных испытаний дает возможность доказать обратное, так как несущая способность свай может воспринимать проектную нагрузку на глубине, гораздо меньшей, чем требуется конструктивно.

В процессе выбора свайного фундамента встает задача определения длины свай, исходя из расчета ее несущей способности по грунту и конструктивных требований. Как известно из нормативных документов, при расчете несущей способности свай большое значение имеет, каким способом она была определена, какие расчетные методики выбраны и приняты коэффициенты.

Опираясь на практический опыт проектирования, оптимальную длину свай назначают с учетом натурных испытаний. Это позволяет в полной мере оценить все характеристики несущей способности и деформативности свайного фундамента. Перед проведением натурных испытаний свай статической нагрузкой необходимо предварительно оценить их несущую способность и грунтов основания, также задаться отметкой погружения нижнего конца. Этот этап определяется, как этап выдачи задания на проведение испытания. На данной стадии следует как можно более точно оценить несущую способность свай и приблизить расчетную ситуацию к натурно-

му испытанию для исключения возможности повторного проведения дорогостоящих испытаний.

Анализ сопоставимости натурных испытаний с численными и инженерными расчетами позволит выявить закономерности и сходимости результатов для дальнейшего определения поправочных коэффициентов, применяемых в инженерных расчетах, которые помогут приблизить результаты расчетов к реальной работе свай в грунте с учетом нелинейности. Все это сократит время на выдачу задания за счет исключения трудоемких численных расчетов.

Свайные фундаменты зданий и сооружений чаще всего представляют собой железобетонный монолитный стержень, жестко сопряженный с ростверком здания, острие свай может опираться как на скальные грунты, так и на менее прочные грунты, такие свай называются висячие. Висячие свай передают нагрузку на грунты основания путем сил трения по боковой поверхности свай и под ее острием [1]. В настоящем исследовании будет моделироваться расчетная ситуация — нагружение одиночной висячей свай статической нагрузкой с учетом нелинейности грунтов основания. Современные программные вычислительные комплексы в настоящее время позволяют пользователю установить напряженно-деформированное состояние (НДС) системы «фундамент-грунт». Подобные расчеты проводят главным образом в специализированных конечно-элементных комплексах типа PLAXIS, MIDAS GTS NX или комплексах общего назначения типа SOFiSTiK, Abaqus [2]. В таких комплексах возможно решение линейных и нелинейных задач НДС. Рассмотрим наиболее распространенный программный расчетный комплекс среди проектировщиков для определения НДС каркаса здания ЛИРА-САПР, который дает возможность решить поставленную задачу благодаря системе «ГРУНТ» и встроенным расчетным механизмам, соответствующим актуальным нормативным документам. Указанная ранее система моделирует грунтовый массив при помощи объемных конечных элементов (КЭ).

Исследования в данном направлении проводили многие отечественные и зарубежные ученые, которые использовали в своих исследованиях различные расчетные методы и программные комплексы (ПК). Для решения сложных задач в современных ПК зачастую применяется метод конечных элементов. С его помощью можно определить НДС расчетной схемы, однако необходимо задать правильные

граничные условия, которые включают расчетную модель грунта основания.

Е.С. Егорова, А.В. Иоскевич проводили сравнение значений осадок сооружения, полученных по результатам расчетов, в ПК SCAD Office и PLAXIS 3D. В SCAD Office были реализованы модель Пастернака и модель с переменными по площади коэффициентами постели. В PLAXIS 3D — модель линейно деформируемого полупространства и модель упругопластической среды [3]. Оказалось, что расчеты в PLAXIS 3D наиболее приближены к результатам по СП 22.13330.2011.

К подобным выводам пришли и ученые, рассматривающие те же ПК [4]. Авторы сделали заключение, что SCAD Office позволяет моделировать надземные конструкции любой сложности при ограниченной возможности моделирования грунта основания, а PLAXIS 3D позволяет наиболее подробно описать инженерно-геологические условия и использовать большее количество расчетных моделей.

В.В. Белов, Ю.Я. Болдырев, С.В. Романов и А.С. Шанина рассматривали применение ПК ANSYS и PLAXIS 3D. В ПК ANSYS реализовывалась модель Друкера – Прагера упругая и упругопластическая, а в PLAXIS 3D модель Мора – Кулона. Результаты оказались схожие, однако в ANSYS производилась корректировка модели из-за расхождения в характеристиках бетона сооружения [5].

Упругопластическая грунтовая модель с упрочнением Hardening Soil (HS), реализованная в ПК PLAXIS 2D, исследована О.В. Соколовой [6]. Была подтверждена корректность осадки грунтов: для пылевато-глинистых грунтов, залегающих в верхней части геологической толщи, модель Мора – Кулона сработала корректно; для грунтов, залегающих на достаточно большой глубине, осадка оказалась значительно ниже, чем при инженерно-геологических изысканиях. Подробное описание расчетных моделей грунтовой среды, а также сравнение их погрешностей приведены в трудах [7, 8].

Работу свай, соединенных ростверком, при динамическом воздействии также усложняет влияние соседних свай друг на друга, точное теоретическое решение проблемы динамического взаимодействия свай и грунта осложняется нелинейностью процесса, поэтому используются приближенные методы [9]. Такие методы расчетов предложены в публикациях иностранных ученых [10–14].

Установлению НДС комбинированного свайного фундамента при заданных геотехнических условиях посвящены работы [15, 16].

Значительный вклад в исследование глинистых грунтов внесли зарубежные ученые, которые разрабатывали новые методики определения НДС глинистых грунтов [17–20].

Сравнительный анализ осадки свай по результатам испытания и расчетов в ПК проводил А.И. Ха-

ричкин [21]. Различные методы расчета осадок свай рассматривала П.А. Тяпкина [22].

Анализируя указанные работы, можно сделать вывод, что большинство ученых для расчетов выбирают иностранные ПК, наблюдается недостаток исследований отечественных ПК, поэтому в данном исследовании моделирование расчетной ситуации будет выполнено в ПК ЛИРА-САПР.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование разделено на несколько этапов.

Первый этап включает сбор и обработку результатов испытания пяти свай, нагружаемых статической вертикальной нагрузкой. Натурный эксперимент проводился на строительной площадке в г. Санкт-Петербург, пос. Шушары, Колпинское шоссе. Выполнены испытания грунтов забивными сваями вертикальной статической вдавливающей нагрузкой на строительном объекте многоквартирного малоэтажного жилого дома.

Цель статических испытаний — определение несущей способности забивных свай по грунту.

Вертикальная нагрузка в процессе испытания свай создавалась при помощи одного гидравлического домкрата грузоподъемностью 200 т. Упором для домкрата служила грузовая металлическая платформа с общим весом анкерного груза 72 или 220 т. При испытании анкерные сваи не использовались, так как установка оснащена грузовой платформой.

Измерение величины вертикального перемещения свай от нагрузки производилось двумя прогибомерами 6-ПАО-Ц-0,01 с точностью отсчета 0,01 мм. Прогибомеры неподвижно прикреплялись к реперной системе, установленной на свае.

После завершения испытаний были построены графики зависимости изменения осадки свай от вдавливающей нагрузки.

Второй этап исследования подразумевает установление несущей способности и осадки свай в соответствии СП 24.13330.2021 при заданной геологии.

Несущая способность висячих свай рассчитывается по формуле:

$$F_d = \gamma_c \left(\gamma_{R,R} \cdot R \cdot A + u \cdot \sum \gamma_{R,f} \cdot f_i \cdot h_i \right), \quad (1)$$

где $\gamma_{R,R}$, $\gamma_{R,f}$ — коэффициент работы грунта под нижним концом сваи и по боковой поверхности; f_i — расчетное сопротивление грунта по боковой поверхности сваи послойно; h_i — толщина соприкасающегося со свайей грунта.

Далее от расчетной несущей способности определяем расчетную осадку сваи по СП 24.13330.2021 в соответствии с формулой:

$$s = \beta \cdot \frac{N}{G_1 \cdot l}, \quad (2)$$

где N — вертикальная нагрузка на сваю, т, принимаемая равной несущей способности.

Третий этап заключается в моделировании расчетной схемы статически нагруженной сваи в ПК ЛИРА-САПР, модель объемного грунта строится в системе «ГРУНТ» при заданной геологии. Тело сваи моделируется также объемными конечными элементами КЭ 36 — универсальный пространственный восьмиузловой КЭ, предназначенный для моделирования пространственных конструкций.

Массив грунта моделируется КЭ 271–276 с численным описанием жесткостных характеристик. Данные КЭ предназначены для моделирования физически нелинейных элементов различных конфигураций односторонней работы грунта на сжатие с учетом сдвига.

Четвертый этап включает расчет коэффициента приведения результатов расчета по СП 24.13330.2021 без учета нелинейной работы грунтов к результатам расчетов в ПК ЛИРА-САПР с учетом нелинейной работы грунтов основания.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Обработка результатов натурных испытаний

В качестве результатов испытания свай вдавливающей статической нагрузкой представлены графики зависимости осадки сваи от статической нагрузки в виде кривых $S-P$ (рис. 1).

Полученные результаты испытаний свай приведены в табл. 1.

Расчет осадки свай ручным методом

После обработки результатов натурных испытаний определяется несущая способность свай. Для этого при заданной геологии массив грунта разбивается на расчетные участки и устанавливается сопротивление

грунта по боковой поверхности сваи и сопротивление грунта под острием сваи в соответствии с формулой (1):

$$F_{d(1)} = 1(1 \cdot 100 \cdot 0,16 + 1 \cdot 1,6 \cdot 16,92) = 43,23 \text{ тс.}$$

Далее для полученной несущей способности сваи по грунту определяем расчетную осадку сваи по формуле (2).

Для сваи № 1 при известных прочностных характеристиках грунтов осредненный модуль сдвига по боковой поверхности равен:

$$G_1 = \frac{2,5 \cdot 2,41 + 0,5 \cdot 901,4 + 1,2 \cdot 452,9 + 4 \cdot 260,3 + 2,3 \cdot 223,1 + 1,2 \cdot 260,3 + 4 \cdot 223,1}{15} = 235 \text{ т/м}^2;$$

$$G_2 = 223,14 \text{ т/м}^2;$$

$$k_v = 2,82 - 3,78 \cdot 0,356 + 2,18 \cdot 0,356^2 = 1,748;$$

$$k_{v1} = 2,82 - 3,78 \cdot 0,29 + 2,18 \cdot 0,29^2 = 1,907.$$

Осредненный коэффициент Пуассона:

$$v_1 = \frac{0,27 \cdot 2,5 + 0,3 \cdot 0,5 + 0,35 \cdot 1,2 + 0,37 \cdot 4 + 0,37 \cdot 2,3 + 0,37 \cdot 1,2 + 0,37 \cdot 4}{15} = 0,343;$$

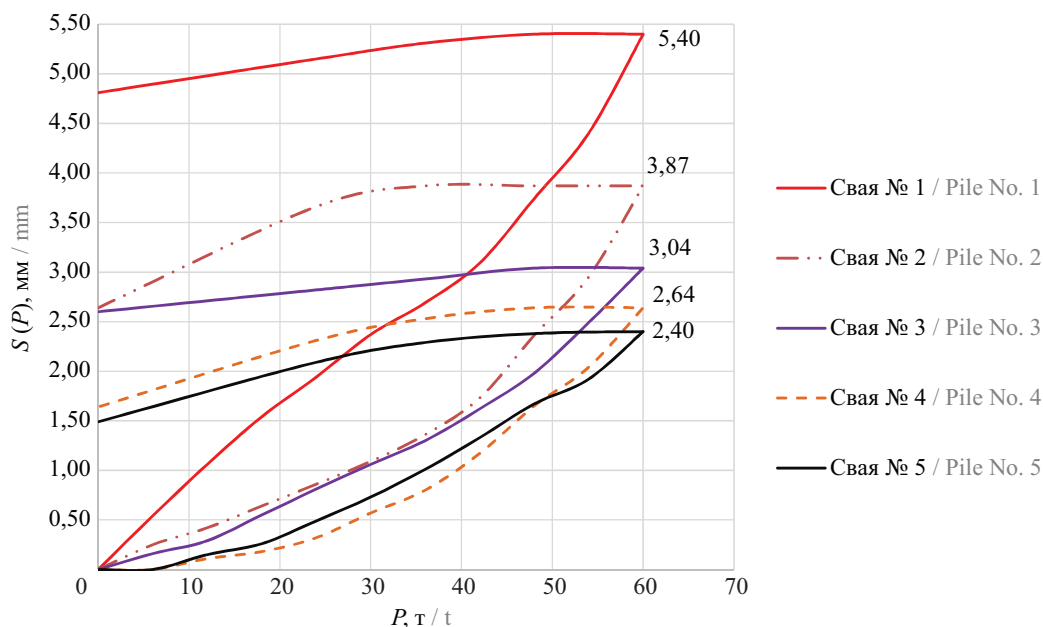


Рис. 1. Графики зависимости осадки свай S от статической вдавливающей нагрузки P

Fig. 1. Graphs of the dependence of the pile settlement S on the static pressure load P

Табл. 1. Сводные результаты испытания свай
Table 1. Summary results of pile testing

Номер сваи Pile number	Сечение, мм Cross section, mm	Длина сваи, м Pile length, m	Максимальная нагрузка, т Maximum load, t	Максимальная осадка, мм Maximum settlement, mm	Предел текучести грунта под острием сваи I_L Yield strength of the soil under the pile tip I_L	Модуль деформации грунта под острием сваи E , т/м ² Modulus of deformation of the soil under the pile tip E , t/m ²
1	400 × 400	15	60	5,40	1	600
2	400 × 400	15	60	3,87	1	600
3	400 × 400	15	60	3,04	1	600
4	400 × 400	15	60	2,64	0,89	800
5	400 × 400	15	60	2,40	1	600

$v_2 = 0,37;$

Тогда осадка сваи № 1 в соответствии с формулой (2) составит:

$$v = \frac{0,343 + 0,37}{2} = 0,357.$$

$$s = 0,779 \cdot \frac{43,23}{235 \cdot 15} = 8,94 \text{ мм}.$$

Относительная жесткость сваи равна:

$$\chi = \frac{3\,058\,103 \cdot 0,16}{267,09 \cdot 16^2} = 4,81;$$

$$\lambda_1 = \frac{2,12 \cdot 4,81^{3/4}}{1 + 2,12 \cdot 4,81^{3/4}} = 0,91;$$

$$\beta' = 0,17 \cdot \ln(1,748 \cdot 37,33) = 0,71;$$

$$\alpha' = 0,17 \cdot \ln(1,778 \cdot \frac{15}{0,45}) = 0,70;$$

$$\beta = \frac{0,71}{0,91} + 0,3 \cdot \frac{1 - (\frac{0,71}{0,70})}{4,81} = 0,779.$$

Расчеты проводятся для всех остальных четырех свай аналогично. Сводные результаты расчетов осадок свай представлены в табл. 2.

Анализ результатов расчета показал большую разницу в расхождении полученных результатов расчета по СП 24.13330.2021.

Расчет осадки свай в ПК ЛИРА с учетом нелинейности грунтов оснований

1. В ПК ЛИРА-САПР создана объемная конечно-элементная модель (КЭМ) сваи, КЭ представляют собой параллелепипеды размерами 200 × 200 × 500 мм (рис. 2) с жесткостными характеристиками бетона В25, далее эти элементы копируются вниз на длину сваи.
2. В системе «ГРУНТ» задаем все прочностные характеристики грунтов основания. Характеристики грунтов должны быть заданы без учета повышаю-

Табл. 2. Сводные результаты осадок свай расчетным методом
Table 2. Summary results of pile settlement by calculation method

Номер сваи Pile number	Осредненный модуль сдвига по боковой поверхности G_1 , т/м ² Averaged lateral shear modulus G_1 , t/m ²	Осредненный модуль сдвига под острием G_2 , т/м ² Averaged shear modulus under the tip G_2 , t/m ²	Относительная жесткость сваи χ Relative stiffness of the pile χ	Расчетная осадка сваи s , мм Estimated pile settlement s , mm	Осадка сваи по результатам испытаний, мм Pile settlement based on test results, mm	Δ_1 , %
1	235	223,14	4,81	8,94	5,40	39,5
2	263,6	223,14	4,78	8,71	3,87	55,5
3	269,7	223,14	4,71	7,29	3,04	58,3
4	212,3	297,52	5,78	9,59	2,64	72,4
5	265,2	223,14	4,98	6,21	2,40	61,4

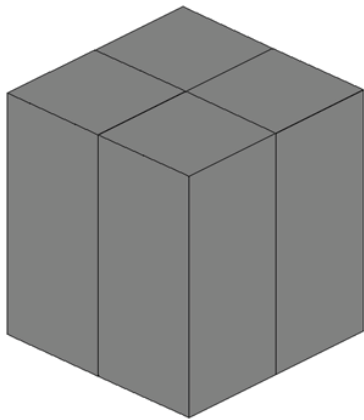


Рис. 2. Расположение конечных элементов, моделирующих сваю

Fig. 2. Location of the finite elements modelling the pile

щих коэффициентов, иначе полученные результаты будут значительно завышены.

3. Затем задаются параметры скважин для создания массива грунта и характеристики КЭМ грунта объемными элементами, а именно: область массива грунта в плане (данная область должна быть много больше периметра сваи, так как при натурном эксперименте напряжения в грунтах основания распределяются на бесконечно большой объем грунта), шаг триангуляции и шаг по глубине.

4. После проведения экстраполяции сетки сгенерированная сетка грунта перенесена обратно в ПК ЛИРА-САПР (рис. 3).

5. Далее прикладывались нагрузки, включающие собственный вес сваи, собственный вес грунта основания, а также статическая вдавливающая нагрузка, действующая на сваю.

6. На массив грунта были наложены связи для предотвращения геометрической изменяемости, запрещаем перемещения сторон грунта в направлении пределов массива грунта.

7. Проводим расчет.

Представлены изополя совместных перемещений в вертикальной плоскости КЭ грунта и сваи (рис. 4).

Табл. 3. Сводные результаты осадок свай

Table 3. Summary results of pile settlement

Номер сваи Pile number	Осадка сваи по результатам испытаний, мм Pile settlement according to test results, mm	Осадка по расчету в ПК ЛИРА-САПР, мм Settlement calculated in the LIRA-CAD PC, mm	$\Delta_2, \%$
1	5,40	5,51	1,99
2	3,87	4,01	3,49
3	3,04	3,13	2,87
4	2,64	2,73	3,29
5	2,40	2,34	2,56

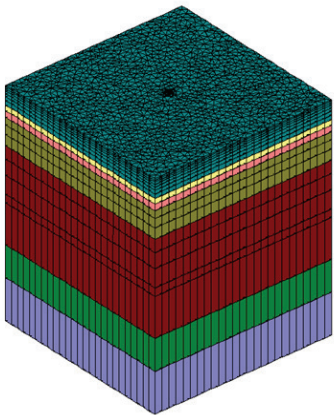


Рис. 3. Замоделированная и триангулированная конечно-элементная модель грунта в ПК ЛИРА-САПР

Fig. 3. Modelled and triangulated finite element model of soil in LIRA-CAD PC

В табл. 3 приведены результаты расчетов остальных свай в ПК ЛИРА-САПР, ручной расчет, а также результаты натурных испытаний свай.

Анализируя табл. 3, стоит отметить, что расхождения между полученными значениями осадок по итогам испытаний и результатам расчета КЭМ с нелинейной работой грунтов не превышают 3,49 %, следовательно, можно утверждать, что данная модель может быть применена для определения НДС висячей сваи.

Анализ полученных результатов

На рис. 5 представлены сводные графики определения осадки по трем вышеописанным методикам.

На графике (рис. 5) видно, что осадка сваи по результатам расчета в ПК ЛИРА-САПР и по итогам испытания изменяется нелинейно, что обуславливается нелинейной работой грунтов основания, этот фактор может негативно отразиться на работе конструкции, поэтому в качестве такого коэффициента предполагается коэффициент k_s .

Осадка свай по результатам испытаний и расчетам в ПК ЛИРА-САПР изменяется согласно закону $y = \sqrt{x}$. Таким образом, функция изменения осадки свай от нагрузки будет иметь вид: $S_k = k_s \cdot P$.

Расчетная осадка сваи с учетом поправочного коэффициента будет иметь вид:

$$S_k = 0,05 \cdot \sqrt{P} \cdot s, \tag{3}$$

где P — статическая нагрузка на сваю; s — расчетная осадка сваи по СП 24.13330.2021.

С учетом поправочного коэффициента построена откорректированная зависимость осадки сваи № 1 от статической нагрузки, которая представлена в табл. 4.

Расхождение итоговой осадки от максимальной нагрузки составляет не больше 1,53 %, что показывает эффективность применения данного поправочного коэффициента.

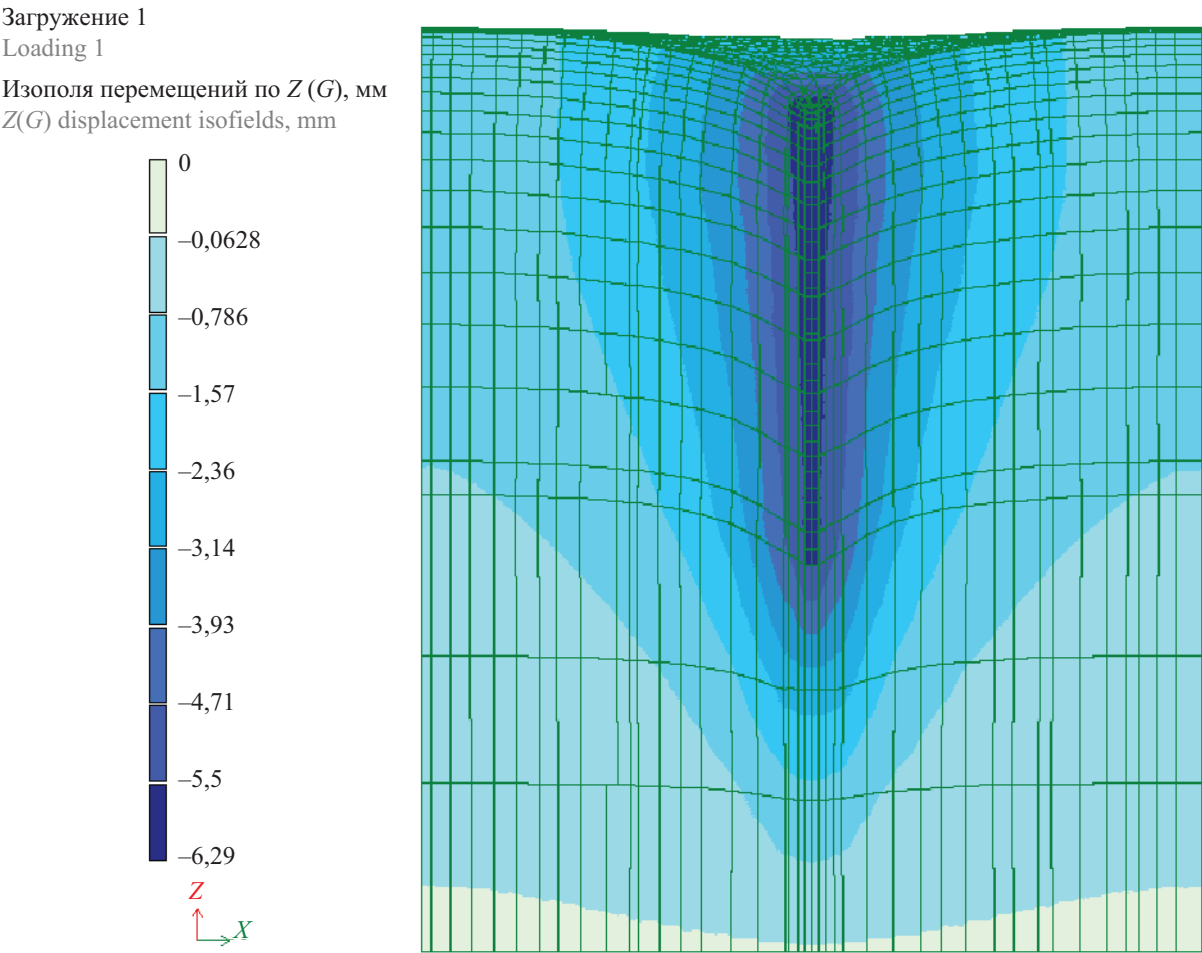


Рис. 4. Изополя перемещений сваи совместно с грунтом основания
Fig. 4. Displacement isopoles of the pile together with the foundation soil

Табл. 4. Расчетная осадка сваи № 1 с учетом корректировочного коэффициента
Table 4. Calculated settlement of pile No. 1 considering the correction factor

Степень нагрузки, т Load stage, t	Осадка сваи по результатам испытаний, мм Pile settlement according to test results, mm	Осадка по расчету с учетом корректировки S_k , мм Settlement calculated taking into account adjustments S_k , mm
0,0	0,00	0,00
6,0	0,54	0,17
12,0	1,06	0,49
18,0	1,54	0,90
24,0	1,94	1,39
30,0	2,37	1,94
36,0	2,69	2,55
42,0	3,09	3,21
48,0	3,74	3,92
54,0	4,40	4,68
60,0	5,40	5,48

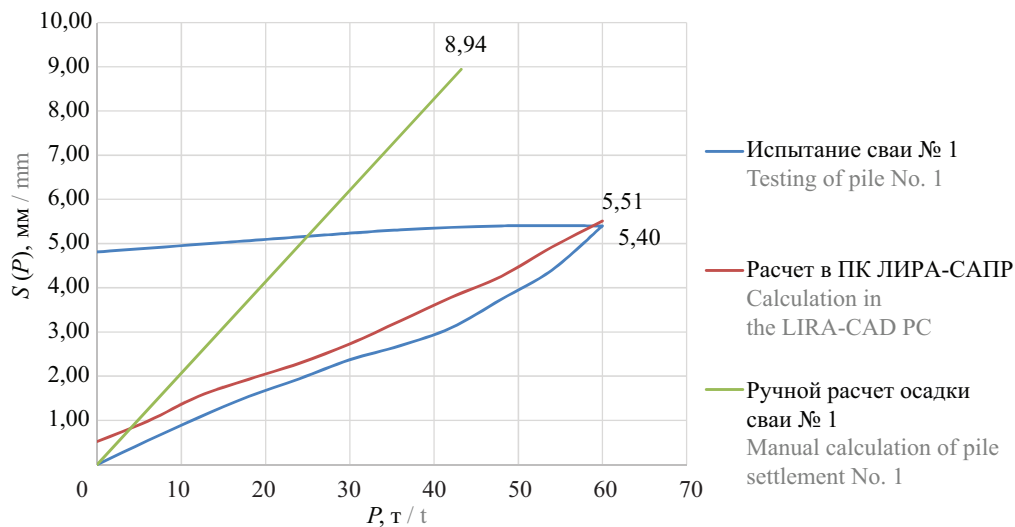


Рис. 5. Результаты расчета осадки сваи № 1
Fig. 5. Results of calculation of the settlement of pile No. 1

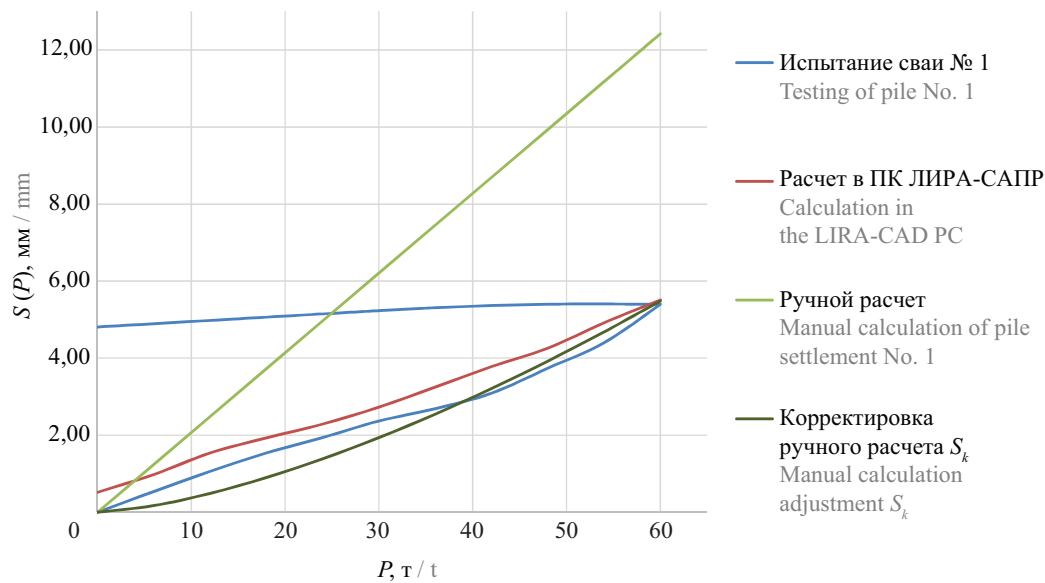


Рис. 6. Графики зависимости осадки сваи № 1 от нагрузки различными расчетными методами
Fig. 6. Graphs of the dependence of the settlement of pile No. 1 on the load by various calculation methods

На рис. 6 графически показана зависимость осадки сваи № 1 от нагрузки различными расчетными методами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенное исследование позволило установить возможность применения системы «ГРУНТ», входящей в ПК ЛИРА-САПР, для проведения нелинейных расчетов массива грунта объемными КЭ. Расхождение в значениях осадки по расчетам в ПК и натурным испытаниям не превышает 3,49 %, что является в рамках допустимого отклонения.

Отмечено существенное расхождение в результатах осадки между испытаниями и ручным расчетом по СП 24.13330.2021, оно составляет 39–72 %,

что указывает на большой запас по прочностным характеристикам грунтов, этот факт может привести к значительному перерасходу материалов фундамента, следовательно, имеется необходимость введения корректировок в полученные значения осадок свай.

В результате исследования предложен поправочный коэффициент k_s . Его применение на примере расчета сваи № 1 продемонстрировало расхождения при максимальной нагрузке 1,53 %. Как видно на рис. 6, отклонения при наибольших нагрузках уменьшаются, сближение графиков происходит после достижения нагрузки, которая соответствует расчетной несущей способности по СП 24.13330.2021.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Konyushkov V.V., Le V.T. Side friction of sandy and clay soils and their resistance under the toe of deep bored piles // *Architecture and Engineering*. 2020. Vol. 5. Issue 1. Pp. 36–44. DOI: 10.23968/2500-0055-2020-5-1-36-44
2. Купчикова Н.В., Алёхин В.С. Анализ деформационно-прочностных характеристик буронабивных микросвай с концевым уширением из щебня // *Перспективы развития строительного комплекса*. 2017. № 1. С. 158–162. EDN ZOFUHN.
3. Егорова Е.С., Иоскевич А.В., Агишев К.Н., Кожевников В.Ю. Модели грунтов, реализованные в программных комплексах SCAD Office и Plaxis 3D // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2016. № 3 (42). С. 31–60. EDN VSYFHT.
4. Мангушев Р.А., Сахаров И.И., Конюшков В.В., Ланько С.В. Сравнительный анализ численного моделирования системы «здание-фундамент-основание» в программных комплексах SCAD и PLAXIS // *Вестник гражданских инженеров*. 2013. № 3 (24). С. 96–101. EDN NDVKMZ.
5. Белов В.В., Болдырев Ю.Я., Романов С.В., Шанина А.С. Опыт применения математического моделирования грунтовых оснований зданий и сооружений // *Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление*. 2010. № 5 (108). С. 103–109. EDN MVXAZD.
6. Соколова О.В. Подбор параметров грунтовых моделей в программном комплексе Plaxis 2D // *Инженерно-строительный журнал*. 2014. № 4 (48). С. 10–16. DOI: 10.5862/MCE.48.2 EDN SFOUPH.
7. Ширяева М.П., Кривонос Е.А. Классификация моделей грунтового основания // *Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ»*. 2014. № 3. С. 18–25. EDN TGILJV.
8. Кургузов К.В., Фоменко И.К. Основополагающие математические модели грунтов в практике геотехнического моделирования. Обзор // *Естественные и технические науки*. 2019. № 5 (131). С. 240–247. DOI: 10.25633/ETN.2019.05.04 EDN KGJTQF.
9. Колесников А.О., Попов В.Н., Костюк Т.Н. Оценка взаимного влияния свай при вертикальных колебаниях фундамента // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. 2020. Т. 16. № 3. С. 209–218. DOI: 10.22363/1815-5235-2020-16-3-209-218
10. Das S.K., Manna B., Baidya D.K. Prediction of pile-separation length under vertical vibration using ANN // *14th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2011.
11. Holeyman A., Whenham V. Axial non-linear dynamic soil-pile interaction // *Springer Proceedings in Physics*. 2015. Pp. 305–333. DOI: 10.1007/978-3-319-19851-4_15
12. Ishibashi I., Zhang X. Unified dynamic shear moduli and damping ratios of sand and clay // *Soils and Foundations*. 1993. Vol. 33. Issue 1. Pp. 182–191. DOI: 10.3208/SANDF1972.33.182
13. Katzenbach R., Choudhury D. ISSMGE Combined Pile-Raft Foundation Guideline. Germany : Technische Universität Darmstadt, Darmstadt, 2013. Pp. 1–23.
14. Bokov I.A., Fedorovsky I.A. Calculation of the settlement of pile foundations containing piles of various lengths and diameters by the interaction factors method // *Proceedings of The XVII European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2019.
15. Van Impe W.F., De Clerq Y. A piled raft interaction model // *Proceedings of 5th International Conference on Piling and Deep Foundations*. Bruges, Balkema, Rotterdam.
16. Idriss I.M., Dobry R., Singh R.D. Nonlinear behavior of soft clays during cyclic loading // *Journal of the Geotechnical Engineering Division*. 1978. Vol. 104. Issue 12. Pp. 1427–1447. DOI: 10.1061/ajgeb6.0000727
17. Wang G., Sitar N. Numerical analysis of piles in elasto-plastic soils under axial loading // *17th ASCE Engineering Mechanics Conference*. 2004.
18. Geuse E.C.W.A., Tjong-Kie T. The mechanical behaviors of clays // *Proceedings of the International Congress on Rheology*. London, 1954. Pp. 247–259.
19. Henkel D.J. Investigation of two long-term failures in London clay slopes at Wood Green and Northolt // *Proceedings 4th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering (London)*. 1957. Vol. 2. Pp. 315–320.
20. Higo Y., Oka F., Kodaka T., Kimoto S. Three-dimensional strain localization of water-saturated clay and numerical simulation using an elasto-viscoplastic model // *Philosophical Magazine*. 2006. Vol. 86. Issue 21–22. Pp. 3205–3240. DOI: 10.1080/14786430500321203
21. Харичкин А.И. Моделирование статического нагружения свайной группы с различными условиями расположения свай // *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2019. № 1 (20). С. 113–119. EDN VTBFNK.
22. Школяр Ф.С., Тяпкина П.А. Сравнение методов расчета осадки свайного фундамента // *Неделя науки ИСИ : сб. мат. Всерос. конф.* 2022. С. 281–283. EDN IPJAFV.

Поступила в редакцию 17 апреля 2023 г.

Принята в доработанном виде 13 июня 2023 г.

Одобрена для публикации 13 июня 2023 г.

О Б А В Т О Р А Х : **Филипп Сергеевич Школяр** — кандидат технических наук, доцент; **Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ)**; 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29; РИНЦ ID: 6980-8774, ResearcherID: GLR-0652-2022, ORCID: 0000-0003-2872-0723; office@spbstu.ru, shkolyar.fs@gmail.com;

Дарья Владимировна Rogozinnikova — студентка; **Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ)**; 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29; РИНЦ ID: 5065-9350; office@spbstu.ru, dar2504@yandex.ru.

Вклад авторов:

Школяр Ф.С. — идея, предоставление исходных данных, научное руководство, научное редактирование текста, доработка текста.

Rogozinnikova Д.В. — сбор и обработка материала, проведение расчетов, составление исходного текста и итоговых выводов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Konyushkov V.V., Le V.T. Side friction of sandy and clay soils and their resistance under the toe of deep bored piles. *Architecture and Engineering*. 2020; 5(1):36-44. DOI: 10.23968/2500-0055-2020-5-1-36-44
2. Kupchikova N.V., Alyokhin V.S. Analysis of the deformation and strength characteristics of bored micro-piles with terminal expansion of crushed stone. *Prospects for the Development of the Construction Complex*. 2017; 1:158-162. EDN ZOFUHN. (rus.).
3. Egorova E.S., Ioskevich A.V., Ioskevich V.V., Agishev K.N., Kozhevnikov K.V. Soil model implemented in the software packages SCAD Office and Plaxis 3D. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2016; 3(42):31-60. EDN VSYFHT. (rus.).
4. Mangushev R.A., Sakharov I.I., Konyushkov V.V., Lan'ko S.V. Comparative analysis of computational modeling of the system "building-foundation-base" in the software packages SCAD and PLAXIS. *Bulletin of Civil Engineers*. 2013; 3(24):96-101. EDN NDVKMZ. (rus.).
5. Belov V.V., Boldyrev Yu.Ya., Romanov S.V., Shanina A.S. Experience in applying mathematical modeling of ground foundations of buildings and structures. *St. Petersburg Polytechnical University Journal. Computer Science. Telecommunication and Control Systems*. 2010; 5(108):103-109. EDN MVXAZD. (rus.).
6. Sokolova O.V. The selection of soil models parameters in Plaxis 2D. *Magazine of Civil Engineering*. 2014; 4(48):10-16. DOI: 10.5862/MCE.48.2. EDN SFOUPH. (rus.).
7. Shiryayeva M.P., Krivonos E.A. Classification of soil foundation models. *Electronic network polythematic journal "Scientific works of KUBSTU"*. 2014; 3:18-25. EDN TGILJV.
8. Kurguzov K.V., Fomenko I.K. Constitutive mathematical soil models in geotechnical practice. Review. *Natural and Technical Sciences*. 2019; 5(131):240-247. DOI: 10.25633/ETN.2019.05.04. EDN KGJTQF. (rus.).
9. Kolesnikov A.O., Popov V.N., Kostiuik T.N. Evaluation of the pile interaction at vertical vibrations of foundation. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2020; 16(3):209-218. DOI: 10.22363/1815-5235-2020-16-3-209-218 (rus.).
10. Das S.K., Manna B., Baidya D.K. Prediction of pile-separation length under vertical vibration using ANN. *14th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2011.
11. Holeyman A., Whenham V. Axial non-linear dynamic soil-pile interaction. *Springer Proceedings in Physics*. 2015; 305-333. DOI: 10.1007/978-3-319-19851-4_15
12. Ishibashi I., Zhang X. Unified dynamic shear moduli and damping ratios of sand and clay. *Soils and Foundations*. 1993; 33(1):182-191. DOI: 10.3208/SANDEF1972.33.182
13. Katzenbach R., Choudhury D. *ISSMGE Combined Pile-Raft Foundation Guideline*. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt, Germany, 2013; 1-23.
14. Bokov I.A., Fedorovsky I.A. Calculation of the settlement of pile foundations containing piles of various lengths and diameters by the interaction factors method. *Proceedings of The XVII European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2019.
15. Van Impe W.F., De Clerq Y. A piled raft interaction model. *Proc. 5th Int. Conf. on Piling and Deep Foundations*. Bruges, Balkema, Rotterdam.
16. Idriss I.M., Dobry R., Singh R.D. Nonlinear behavior of soft clays during cyclic loading. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*. 1978; 104(12):1427-1447. DOI: 10.1061/ajgeb6.0000727
17. Wang G., Sitar N. Numerical analysis of piles in elasto-plastic soils under axial loading. *17th ASCE Engineering Mechanics Conference*. 2004.
18. Geuse E.C.W.A., Tjong-Kie T. The mechanical behaviors of clays. *Proceedings of the International Congress on Rheology*. London, 1954; 247-259.
19. Henkel D.J. Investigation of two long-term failures in London clay slopes at Wood Green and Northolt. *Proceedings 4th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering (London)*. 1957; 2:315-320.

20. Higo Y., Oka F., Kodaka T., Kimoto S. Three-dimensional strain localization of water-saturated clay and numerical simulation using an elasto-viscoplastic model. *Philosophical Magazine*. 2006; 86(21-22):3205-3240. DOI: 10.1080/14786430500321203
21. Kharichkin A. Numerical analysis of static loading pile groups with different conditions of pile location in group. *Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2019; 1(20):113-119. EDN VTBFNK. (rus.).
22. Shkolyar F.S., Tyapkina P.A. Comparison of methods for calculating the precipitation of a pile foundation. *Week of Science ISI: collection of materials of the All-Russian Conference*. 2022; 281-283. EDN IPJAFV. (rus.).

Received April 17, 2023.

Adopted in revised form on June 13, 2023.

Approved for publication on June 13, 2023.

B I O N O T E S: **Filipp S. Shkoliar** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; **Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (SPbPU)**; 29 Politekhnicheskaya st., St. Petersburg, 195251, Russian Federation; ID RSCI: 6980-8774, ResearcherID: GLR-0652-2022, ORCID: 0000-0003-2872-0723; office@spbstu.ru, shkolyar.fs@gmail.com;

Darya V. Rogozinnikova — student; **Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (SPbPU)**; 29 Politekhnicheskaya st., St. Petersburg, 195251, Russian Federation; ID RSCI: 5065-9350; office@spbstu.ru, dar2504@yandex.ru.

Contribution of the authors:

Filipp S. Shkoliar — idea, provision of source data, scientific guidance, scientific text editing, text revision.

Darya V. Rogozinnikova — collecting the material, processing the material, making calculations, compiling the source text and final conclusions.

Authors report about the absence of conflict of interests.

Исследование влияния термической модификации древесины на адгезионные и прочностные свойства древесно-цементной композиции

Василий Юрьевич Чернов, Евгений Сергеевич Шарапов,
Елена Михайловна Мальцева, Екатерина Николаевна Пегушина

Поволжский государственный технологический университет (ПГТУ); г. Йошкар-Ола, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Исследуются адгезионные показатели и факторы, оказывающие влияние на формирование композиции термически модифицированной древесины (ТМД) и цемента. Результаты направлены на создание нового материала с улучшенными эксплуатационными свойствами, который получил название термодревбетон (ТДБ).

Материалы и методы. Применены адаптированные стандартные методики исследования адгезии (сцепления) цементно-песчаного раствора с основанием из ТМД и прочности на сжатие цементно-песчаного раствора, полученного на водах, настоянных на различных видах древесины и ТМД. Рассмотрено влияние следующих факторов: интенсивности (классы) термической модификации, породы древесины, способов формования раствора, содержания цементного вяжущего, степени очистки и влажности поверхности ТМД, наличия финальной тепловлажностной обработки образцов.

Результаты. Наилучшими показателями сцепления с ТМД обладал цементно-песчаный раствор с повышенным содержанием цементного вяжущего, небольшое улучшение прочности адгезии показало дополнительное применение раствора ПВА-эмульсии. В целом при одинаковых условиях натуральная древесина имела более высокую адгезию по сравнению с ТМД. К негативным факторам были отнесены предварительное увлажнение термически модифицированной древесины, очистка и выравнивание (строжка) ее поверхности, использование хвойной ТМД. В исследованиях прочности цементно-песчаного раствора наименьший показатель имел раствор с добавлением ПВА-эмульсии, по остальным факторам, а именно по степени очистки воды после настаивания на ТМД и натуральной древесине, выявлено незначительное отличие по сравнению с раствором, полученным на чистой технической воде.

Выводы. ТМД цементная композиция имеет меньшее усилие сцепления в сравнении с натуральной древесиной. Это связано с совместным влиянием низкой гигроскопичности и низкой смачиваемости (отталкивающей способности) поверхности ТМД. Промывка термически модифицированного заполнителя нецелесообразна ввиду ухудшения адгезионных свойств заполнителя в ТДБ. Для повышения сцепления компонентов рекомендуется применять растворы с повышенным содержанием цементного вяжущего.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: адгезия цементно-песчаного раствора, прочность цементно-песчаного раствора, термодревбетон, ТДБ, термически модифицированная древесина, ТМД, ТМД цементная композиция

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-00098 (URL: <https://rscf.ru/project/22-79-00098/>) с использованием оборудования ЦКП «Экология, биотехнологии и процессы получения экологически чистых энергоносителей» Поволжского государственного технологического университета, г. Йошкар-Ола, соглашение № 075-15-2021-674/3.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Чернов В.Ю., Шарапов Е.С., Мальцева Е.М., Пегушина Е.Н. Исследование влияния термической модификации древесины на адгезионные и прочностные свойства древесно-цементной композиции // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. Вып. 9. С. 1394–1407. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.9.1394-1407

Автор, ответственный за переписку: Василий Юрьевич Чернов, chernovvy@volgatch.net.

Effect of thermal modification of wood on adhesion and strength properties of wood-cement composition

Vasilij Yu. Chernov, Evgenij S. Sharapov, Elena M. Mal'ceva, Ekaterina N. Pegushina
Volga State University of Technology (VSUT); Yoshkar-Ola, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The adhesion properties and factors influencing the formation of the composition of thermally modified timber (TMT) and cement are investigated. The results were focused on the creation of a new material with improved service properties, which is named thermo-wood concrete (TWC).

Materials and methods. Adapted standard methods to assess the adhesion of sand-cement mortar with TMT and

compressive strength of sand-cement mortar obtained on waters infused with different types of wood and TMT were applied. The influence of the following factors was considered: the intensity (classes) of wood thermal modification, wood species, mortar formation method, cement binder content, wood surface conditions and moisture content of TMT, the presence of final steam curing of specimens.

Results. The sand-cement mortar with a high content of cement binder had the highest adhesion with TMT. PVA-emulsion solution resulted in additional slight improvement of the sand-cement mortar and TMT adhesion. In general, unmodified (natural) wood had higher adhesion in comparison with TMT under the same conditions. Negative factors included premoistening of thermally modified timber surface, cleaning and leveling of its surface and the use of coniferous species for TMT specimens. The strength of sand-cement mortar was the lowest for specimens with addition of PVA-emulsion. Factor of water purification after infusion with TMT and unmodified wood had insignificant effect on strength of sand-cement mortar.

Conclusions. TMT-cement composition had a lower adhesive force in comparison with unmodified wood. This is due to the combined effect of low hygroscopicity and wettability of the TMT surface. Water washing of the TMT is inappropriate due to deterioration of adhesion properties of the filler in TWC. To increase the adhesion of the components, it is recommended to use mortars with a high content of cement binder.

KEYWORDS: adhesion of sand-cement mortar, strength of sand-cement mortar, thermo-wood concrete, TWC, thermally modified timber, TMT, TMT-cement composition

Acknowledgements. The research work was supported by the Russian Science Foundation (RSF, No. 22-79-00098) (URL: <https://rscf.ru/en/project/22-79-00098/>) using equipment of the Core Facility Centre "Ecology, biotechnologies and processes for obtaining environmentally friendly energy carriers" of Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola (No. 075-15-2021-674/3).

FOR CITATION: Chernov V.Yu., Sharapov E.S., Mal'ceva E.M., Pegushina E.N. Effect of thermal modification of wood on adhesion and strength properties of wood-cement composition. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2023; 18(9):1394-1407. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.9.1394-1407 (rus.).

Corresponding author: Vasilij Yu. Chernov, chernovvy@volgatech.net.

ВВЕДЕНИЕ

По сравнению с классическими минеральными заполнителями бетонов (такими как гранитный щебень и отсев, песок речной или карьерный, гравий, песчано-гравийная смесь или обогащенная песчано-гравийная смесь и т.д.) измельченная древесина в натуральном виде оказывает негативное влияние на процесс гидратации цементных вяжущих, в результате чего получают готовые строительные материалы и изделия с невысокими механическими и эксплуатационными свойствами [1–5]. Основной причиной этого является воздействие гемицеллюлозы, крахмала и экстрактивных веществ, содержащихся в натуральной древесине, на протекание процесса образования цементного камня (ЦК) в древесно-цементных композициях [6–9]. При этом установлено как снижение общей прочности получаемого материала, так и существенное снижение интенсивности (замедление) набора прочности при выдержке бетонов [10–12].

В патенте RU № 2790390 (Способ изготовления термодревбетона / В.Ю. Чернов и др.) предложена разработка древесно-цементных композиций в виде бетона, где в качестве крупного заполнителя выступает термически модифицированная древесина. Первые разработки и исследования нового материала осуществлялись в производственных условиях на участке термической и механической обработки ООО «НовЛесТех» (ныне — Научно-производственное объединение «Маритермодревиндустрия»), основная деятельность которого заключается в термической модификации древесины. Разработанный материал получил название термодревбетон (ТДБ). Суть идеи состоит в том, что при создании композиционного материала с использованием гидравлических вяжущих веществ и включением крупных

заполнителей из термически модифицированной древесины (ТМД) вместо натуральной древесины композиция приобретает улучшенные эксплуатационные свойства [13–19] благодаря:

- существенному снижению содержания экстрактивных веществ, в том числе различных органических кислот, являющихся «цементными ядами»;
- уменьшению степени гигроскопичности и, как следствие, улучшению стабильности формы и размеров в процессе эксплуатации;
- повышению сопротивляемости образованию грибных поражений в заполнителе;
- увеличению пористости, снижению плотности и, соответственно, улучшению тепло- и звукоизоляционных свойств;
- уничтожению скрытых источников биологических повреждений, что актуально для низкосортной древесины и отходов лесопиления.

Первые сравнительные исследования по определению прочности на сжатие (марочной прочности), теплопроводности на первых образцах представлены в работе [20]. Было установлено, что наиболее перспективно применение нестандартных размеров древесного крупного заполнителя от 10 до 25 мм и толщиной не менее 5 мм. Это связано с более низким водопоглощением крупными частицами заполнителя из ТМД по сравнению с тонкими заполнителями, имеющими стандартную толщину до 3 мм. Определено, что использование тонкоизмельченного заполнителя как из натуральной древесины, так и из ТМД, негативно влияет на набор прочности материала после формования и на гигроскопичность готового материала. Интерес вызывают и экспериментальные данные о закономерности набора температуры при воздействии источника тепла, характеризующие теплопроводные свойства

материала. Здесь ТДБ показал результаты, примерно схожие с газобетоном, как одним из наиболее современных и эффективных конструкционных строительных материалов, представленных на рынке. При этом прочность ТДБ по результатам исследований в разы превосходила прочность газобетона. Также прочность и теплопроводность ТДБ имела показатели выше, чем у наиболее близкого аналога — керамзитобетона.

При создании нового материала авторы столкнулись с тем, что, как правило, нет или слабо представлены данные о его свойствах и влиянии различных факторов на эти свойства, о технологических и рецептурных параметрах [21–26], отсутствуют экспериментально апробированные теоретические расчетные методики. На начальном этапе важную роль играют поисковые исследования, заключающиеся в экспериментальном определении влияния различных факторов на свойства разрабатываемого материала. Поэтому для определения фундаментальных основ закономерностей образования ТМД цементной композиции первоначально следует выполнить экспериментальные исследования адгезионных (прочностных) свойств ТМД и ЦК.

Цель исследования — определение влияния факторов, относящихся к особенностям процесса термической модификации и особенностям древесины, послужившей сырьем для производства ТМД, на адгезионные свойства (прочность сцепления) при создании ТМД цементной композиции.

При создании древесно-цементной композиции основными причинами ее невысокой общей прочности могут быть:

- 1) снижение прочности сцепления на границе поверхности древесины и цементно-песчаного раствора (слоя);
- 2) снижение прочности непосредственно самого цементно-песчаного раствора (ЦК);
- 3) уменьшение интенсивности набора прочности композиции в зависимости от времени выдержки.

Поскольку третий фактор относится к промышленным основам процесса изготовления ТДБ, данная работа посвящена изучению первых двух причин.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Методика исследования прочности сцепления (адгезии) цементно-песчаного раствора с ТМД

Для определения влияния факторов, относящихся к особенностям процесса термической мо-

дификации и полученной ТМД, на адгезионные свойства за основу взята методика испытаний раствора с основанием по ГОСТ Р 58277–2018, предполагающая изготовление слоя из раствора на основе цементного вяжущего, его размещения (приклеивания) на бетонной поверхности в виде диска диаметром 50 мм и толщиной от 3 до 10 мм. После выдержки на образцах измеряется усилие отрыва. Для этого на свободную поверхность испытываемого слоя раствора приклеивается металлический диск с анкером (штамп), далее этот штамп закрепляют в испытательной установке и включают ее на растяжение. В результате работы происходит отрыв, фиксируются усилие отрыва и характер разрыва.

В связи с отличием свойств ТМД от стандартных заполнителей растворов и бетонов для достижения более точных и эффективных результатов измерений метод модернизирован. В качестве основания были подготовлены образцы из термически модифицированных обрезных досок (заготовок) с размерами $22 \times 70 \times 100$ мм.

Образцы изготавливались следующим образом (рис. 1):

- 1) подготавливался цементно-песчаный раствор с необходимым классом прочности, содержанием воды;
- 2) на центральную часть заранее подготовленного основания из ТМД выкладывался слой раствора и с помощью кольца и шпателя придавалась правильная цилиндрическая форма;
- 3) второе основание прикладывалось сверху параллельно нижнему и придавливалось легкими постукиваниями;
- 4) полученный образец (рис. 2) помещался в климатический шкаф и предварительно переворачивался так, чтобы верхнее основание оказалось снизу, а нижнее — сверху;
- 5) выдерживание осуществлялось первые 7 суток при температуре 20°C и относительной влажности 95 %, затем в течение 21 суток при температуре 20°C и относительной влажности 60 %. Общее время выдержки 28 суток.

Для поискового исследования влияния различных факторов на прочность сцепления древесно-цементной композиции в соответствии со стандартом подготовлены 10 групп образцов, в каждой группе по 10 образцов, что соответствует требованиям стандартной методики испытаний (не менее 5 шт.). В качестве базовых образцов использованы заготовки, изготовленные из термически модифицирован-

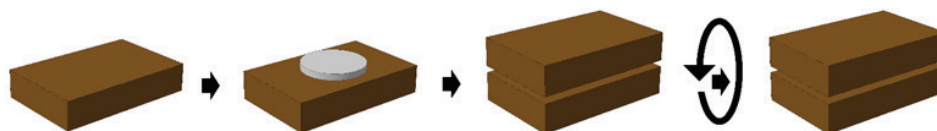


Рис. 1. Последовательность изготовления образцов для исследования адгезии цементно-песчаного раствора с основанием из ТМД

Fig. 1. Sequence of making specimens to study adhesion of sand-cement mortar with TMT substrate

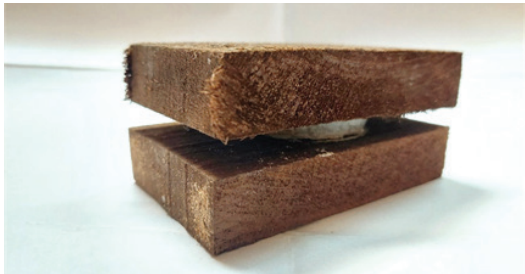


Рис. 2. Экспериментальный образец после изготовления

Fig. 2. Experimental specimen after production

ной древесины осины (*Pópulus trémula*), полученные при температурах обработки 180–185 °С в среде перегретого пара в автоклавных установках промышленного назначения. Заготовки выполнены нестрогаными. Для склеивания оснований применялся цементно-песчаный раствор, полученный смешиванием из портландцемента М500 (маркировка 42,5Н (ЦЕМ II/А-К)) (ГОСТ 25328–82), очищенный карьерный песок I класса мелкой и средней фракции (ГОСТ 8736–2014) и техническая вода (ГОСТ 23732–2011) в соответствующих пропорциях для получения раствора класса В12,5 (М150). Раствор изготавливался пластичностью, соответствующей кладочному раствору. Остальные группы образцов изготавливались с отклонениями от указанных параметров с целью определения влияния различных

факторов на прочность адгезии ТМД и цементно-песчаного раствора (табл. 1).

В соответствии со стандартной методикой расчет прочности сцепления осуществлялся по величине усилия отрыва и площади контакта между слоем раствора и оторванного основания. Как правило, из двух оснований отрывалось одно, имеющее наименьшую прочность сцепления. Эта величина бралась для расчета прочности сцепления A_p , МПа:

$$A_i = \frac{F}{S},$$

где F — максимальная сила отрыва образца от основания, Н; S — площадь контакта поверхности образца с основанием, мм².

За результат испытания принимают среднearифметическое значение результатов испытания всех образцов A , МПа:

$$A = \frac{(A_1 + \dots + A_n)}{n}.$$

Поскольку усилие отрыва на пробных образцах ТМД составляло всего от 40 до 250 г, имеющаяся универсальная испытательная машина (УИМ) SHIMADZU 50 кН не подходила ввиду большей чувствительности тензодатчика по сравнению с требуемым диапазоном измерений. Поэтому использованы портативные электронные весы с чув-

Табл. 1. Описание особенностей изготовления отдельных групп экспериментальных образцов на определение прочности адгезии

Table 1. Groups of specimens with conditions and preparation methodology for adhesion test

Номер группы Group number	Описание образцов Specimen description	Описание методики изготовления (подготовки) Description of preparation methodology
1-1	Образцы ТМД осины с температурой обработки 180–185 °С Aspen TMT specimens with treatment temperature of 180–185 °С	Базовые образцы — образцы и класс термической модификации, принятые в качестве основных при последующем изготовлении экспериментальных образцов термодревбетона. В данном случае используется порода осины (<i>Pópulus trémula</i>) как представитель наиболее часто встречаемых мягколиственных пород средней полосы России Basic specimens — specimens and class of thermal modification adopted as the main ones for the subsequent production of experimental specimens of TMT. In this case aspen (<i>Pópulus trémula</i>) is used as a representative of the most common soft-leaved species of the middle zone of Russia
2-1	Образцы ТМД сосны с температурой обработки 180–185 °С Pine TMT specimens with treatment temperature of 180–185 °С	Сравниваемые образцы. Используется сосна (<i>Pinus sylvestris</i>) как представитель наиболее часто встречаемых хвойных пород средней полосы России Compared specimens. Pine (<i>Pinus sylvestris</i>) is used as a representative of the most common coniferous species of the middle zone of Russia
3-1	Образцы ТМД осины с температурой обработки 160–165 °С Aspen TMT specimens with treatment temperature of 160–165 °С	Сравниваемые образцы. Определение влияния класса термической модификации на адгезионную прочность ТМД с цементным камнем Compared specimens. Determination of the influence of the thermal modification class on the adhesion strength of TMD with cement stone

Окончание табл. 1
End of the Table 1

Номер группы Group number	Описание образцов Specimen description	Описание методики изготовления (подготовки) Description of preparation methodology
4-1	Дополнительно вымытые образцы ТМД осины с температурой обработки 180–185 °С Additionally washed aspen TMT specimens with treatment temperature of 180–185 °С	Сравниваемые образцы. Установление факта очистки (промывки) поверхности от загрязнения на адгезионную прочность ТМД с цементным камнем. Промывка проводилась путем выдерживания образцов под струей проточной воды до момента ее полного осветления. Далее ТМД при изготовлении образцов не высушивалась, а использовалась в сыром виде Compared specimens. Determination of the fact of cleaning (washing) of the surface from contamination on the adhesion strength of TMT with cement stone. Washing was carried out by keeping the specimens under a stream of running water until its complete clarification. Further TMT was not dried during the manufacture of specimens, but was used in raw form
5-1	Дополнительно вымытые и обработанные грунтом образцы ТМД осины с температурой обработки 180–185 °С Additionally washed and primed aspen TMT specimens with treatment temperature of 180–185 °С	Сравниваемые образцы, аналогичные образцам 4-1. Однако поверхности ТМД дополнительно обрабатывались 5%-ным раствором поливинилацетатной эмульсии (клей ПВА строительно-бытовой) с целью образования грунтовочного слоя на поверхности древесины для цементно-песчаного раствора Specimens compared were similar to specimens 4-1. However, TMT surfaces were additionally treated with 5 % solution of polyvinyl acetate emulsion (PVA construction glue) in order to form a priming layer on the wood surface for sand-cement mortar
6-1	Строганные образцы ТМД осины с температурой обработки 180–185 °С Planed aspen TMT specimens with treatment temperature 180–185 °С	Сравниваемые образцы. Определение влияния шероховатости обработки на адгезионную прочность ТМД с цементным камнем Compared specimens. Determination of the influence of roughness of processing on the adhesion strength of TMT with cement stone
7-1	Образцы древесины осины в натуральном виде Specimens of aspen wood in its natural form	Сравниваемые образцы. Установление общего влияния термической модификации на адгезионную прочность ТМД с цементным камнем Comparison specimens. Determination of the overall effect of thermal modification on the adhesion strength of TMT with cement stone
8-1	Образцы ТМД осины с температурой обработки 180–185 °С, склеиваемые цементно-песчаным раствором высокой марочной прочностью Aspen TMT specimens with treatment temperature 180–185 °С, bonded with sand-cement mortar of high quality strength	Сравниваемые образцы. Выявление факта влияния повышенного содержания цементного вяжущего (класса раствора) на адгезионную прочность ТМД с цементным камнем. Изготовлен раствор В40 (М500) Compared specimens. Detection of the effect of increased cement binder content (mortar class) on the adhesion strength of TMT with cement stone. Made mortar B40 (M500)
9-1	Образцы, выдержанные в паровоздушной среде, изготовленные из ТМД осины с температурой обработки 180–185 °С Specimens kept in a vapour-air environment, made of aspen TMT with treatment temperature of 180–185 °С	Сравниваемые образцы. Определение влияния стандартной тепловлажной обработки готовых изделий для ускорения процесса твердения раствора (пропаривание изделий при нормальном давлении и температуре 60–80 °С) Compared specimens. Determination of the influence of standard steam curing of finished products to accelerate the mortar hardening process (steaming of products at normal pressure and temperature 60–80 °С)
10-1	Образцы, полученные путем склеивания под давлением полусухим цементно-песчаным раствором ТМД с температурой обработки 180–185 °С Specimens obtained by pressure bonding with semi-dry sand-cement mortar TMT with treatment temperature 180–185 °С	Сравниваемые образцы. Выявление влияния способа формования, а именно прессование полусухого раствора как аналог вибропрессования. Операция склейки выполнялась ударными воздействиями на промежуточный слой при формовании в конических кольцах и на второе основание при его укладке сверху Compared specimens. Identification of the influence of the moulding method, namely semi-dry mortar pressing as an analogue of vibro-pressing. The bonding operation was performed by impact on the intermediate layer when moulded in conical rings and on the second base when placed on top of it

ствительностью измерения 5 г, или 0,049 Н (Portable electronic scale) и диапазоном измерений 0–30 кг, или 0–294 Н. Однако для равномерного приложения усилия на отрыв была использована указанная универсальная испытательная машина. Она обеспечивает равномерное перемещение траверсы со скоростью 1 мм/мин. Для крепления образцов применялись специально изготовленная оснастка для жесткого крепления нижнего основания и две гибкие петли для зацепления верхнего основания и его соединения с крючком электронных весов. Вследствие естественной погрешности изготовления образцов (непрямолинейность дощечек оснований, непараллельность их склейки, варьирование толщины цементно-песчаного раствора (слоя) и т.д.) петли выполнены из гибкого материала — шпагата полипропиленового. Их использование на пробных образцах показало лучшую точность измерения по сравнению с жесткими креплениями, что связано с более легким и простым их закреплением, настройкой под каждый образец и последующим равномерным натяжением в процессе работы (рис. 3).

Методика исследования влияния воды, контактирующей с древесиной, на прочность цементно-песчаного раствора

Для определения влияния растворенных в воде веществ на прочность цементно-песчаного раствора, а именно воды, полученной после контакта и настаивания на древесине в натуральном виде, а также на неочищенной и промытой ТМД, разработана методика, включающая вымачивание указанных

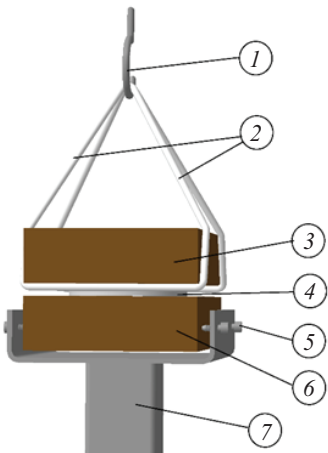


Рис. 3. Схема закрепления экспериментальных образцов в процессе исследования: 1 — крюк портативных электронных весов; 2 — шпагат полипропиленовый; 3 — верхнее основание образца; 4 — слой цементно-песчаного раствора; 5 — зажимные винты (4 шт.) для крепления нижнего основания образца; 6 — нижнее основание образцов; 7 — кронштейн крепления оснастки к нижней траверсе универсальной испытательной машины

Fig. 3. Scheme of fixing experimental specimens in the process of research: 1 — hook of portable electronic scales; 2 — polypropylene twine; 3 — upper specimen base; 4 — layer of sand-cement mortar; 5 — clamping screws (4 pcs.) for fixing the lower specimen base; 6 — lower specimen base; 7 — bracket for fixing the equipment to the lower crossbeam of the universal testing machine

Табл. 2. Описание особенностей изготовления отдельных групп экспериментальных образцов на определение прочности сжатия

Table 2. Groups of specimen with conditions and preparation methodology for compression test

Номер группы Group number	Описание образцов Specimen description	Описание методики изготовления (подготовки) Description of preparation methodology
1-2	Цементно-песчаный раствор на чистой технической воде Sand-cement mortar with pure technical water	Стандартная технология изготовления раствора различного назначения Standard technology for the production of mortar for various purposes
2-2	Цементно-песчаный раствор на воде, полученной путем настаивания на натуральной древесине Sand-cement mortar based on water obtained by infusion with natural wood	Использовалась для вымачивания (настаивания) пиленая древесина хвойных и лиственных пород. Частично соответствует группе 7-1 Sawed coniferous and hardwood was used for soaking (infusion). Partially corresponds to group 7-1
3-2	Цементно-песчаный раствор на воде, полученной путем настаивания на ТМД Sand-cement mortar based on water obtained by infusion with TMT	Применялась для вымачивания пиленая ТМД осины с температурой обработки 180–185 °С. Соответствует группе 1-1 Sawn aspen TMT with treatment temperature of 180–185 °C was used for soaking. Conforms to group 1-1
4-2	Цементно-песчаный раствор на воде, полученной путем настаивания на промытой (очищенной) ТМД Sand-cement mortar based on water obtained by infusion with washed (purified) TMT	Использовалась для вымачивания промытая пиленая ТМД осины с температурой обработки 180–185 °С. Соответствует группе 4-1 Washed sawn aspen TMT with treatment temperature of 180–185 °C was used for soaking. Conforms to group 4-1

Номер группы Group number	Описание образцов Specimen description	Описание методики изготовления (подготовки) Description of preparation methodology
5-2	Цементно-песчаный раствор на воде, полученной путем настаивания на ТМД с добавлением строительной ПВА эмульсии Sand-cement mortar on water obtained by infusion with TMT with the addition of PVA emulsion	Применялась для вымачивания пиленая ТМД осины с температурой обработки 180–185 °С. В цементно-песчаный раствор был добавлен 5%-ный раствор поливинилацетатной эмульсии. Соответствует группе 5-А Sawn aspen TMT with treatment temperature of 180–185 °C was used for soaking. A 5 % solution of polyvinyl acetate emulsion was added to the sand-cement mortar. Corresponds to group 5-A

материалов и последующее приготовление на них цементно-песчаного раствора.

Исследование выполнялось на пяти группах образцов. Описание каждой группы представлено в табл. 2. Образцы изготавливались следующим образом:

1) настаивание воды на древесине указанных видов в течение 12 ч при температуре окружающей среды 20 °С;

2) изготовление образцов из цементно-песчаного раствора класса В12,5 (М150) кубической формы размерами 70 × 70 × 70 мм;

3) выдерживание первые 7 сут при температуре 20 °С и относительной влажности 95 %, а затем в течение 21 сут при температуре 20 °С и относительной влажности 60 %. Общее время выдержки 28 сут.

Испытания проводились также с помощью машины SHIMADZU 50 кН. Расчет предела прочности раствора на сжатие R , МПа, выполнялся согласно ГОСТ Р 58767–2019:

$$R_i = \frac{P}{A},$$

где P — разрушающая нагрузка, Н; A — рабочая площадь сечения образца, мм².

За результат испытания также принимают среднеарифметическое значение результатов испытания всех образцов R , МПа.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для получения показателей прочности адгезии раствора с основанием из ТМД была пересчитана сила отрыва из $г \times с$, Н, и вычислена площадь контакта раствора с основанием. Обобщенные основные результаты исследования прочности адгезии цементно-песчаного раствора и основания по всем группам образцов представлены в табл. 3 и на рис. 4.

Для получения показателей прочности раствора на сжатие вычислена рабочая площадь сечения образца. Обобщенные основные результаты исследования прочности адгезии цементно-песчаного раствора и основания по всем группам образцов представлены в табл. 4 и на рис. 5.

Исследования показали существенно более высокие показатели сцепления (адгезии) цементно-песчаного раствора класса В12,5 (М150) с натуральной древесиной (группа 7-1) по сравнению со всеми видами ТМД (группа 2-1–6-1, 9-1 и 10А).

Табл. 3. Основные статистические показатели прочности адгезии цементно-песчаного раствора и основания
Table 3. Main statistical data for adhesion test between sand-cement mortar and thermally modified timber

Статистические показатели прочности сцепления, МПа Statistical indicators of bond strength, MPa	Группы образцов / Specimen groups									
	1-1	2-1	3-1	4-1	5-1	6-1	7-1	8-1	9-1	10-1
Среднее A Average A	0,0043	0,0006	0,0009	0,0003	0,0020	0,0006	0,0089	0,0119	0,0005	0,0015
Максимальное Maximum	0,0135	0,0026	0,0019	0,0006	0,0149	0,0012	0,0272	0,0203	0,0312	0,0046
Минимальное Minimum	0,0003	0,0001	0,0004	0,0000	0,0000	0,0001	0,0013	0,0007	0,0000	0,0028
Стандартное отклонение Standard deviation	0,0048	0,0008	0,0006	0,0002	0,0046	0,0044	0,0087	0,0075	0,0010	0,0013

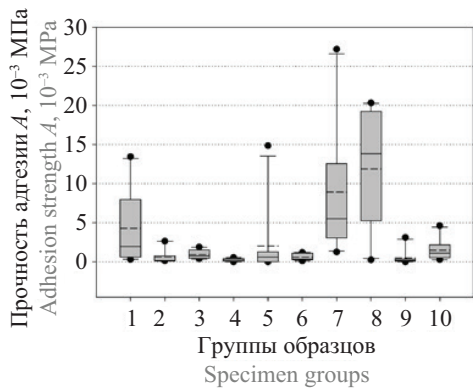


Рис. 4. Диаграмма размаха прочности адгезии цементно-песчаных растворов и древесных оснований

Fig. 4. Box-plots of adhesion strength between sand-cement mortar and thermally modified timber

Наилучший показатель адгезии показали образцы (группа 8-1), цементно-песчаный слой которых изготовлен из раствора В40 (М500) с повышенным содержанием портландцемента. Именно данный раствор показал прочность на 25 % выше прочности адгезии с натуральной древесиной цементно-песчаного раствора класса В12,5 (М150) и на 64 % выше прочности адгезии раствора того же класса с ТМД.

Табл. 4. Основные статистические показатели прочности на сжатие цементно-песчаных растворов

Table 4. Main statistical data for sand-cement mortar compression test

Статистические показатели прочности на сжатие, МПа Statistical indicators of compressive strength, MPa	Группы образцов / Specimen groups				
	1-2	2-2	3-2	4-2	5-2
Среднее <i>R</i> Average <i>R</i>	5,25	5,98	5,77	5,32	1,25
Максимальное Maximum	6,29	8,50	9,39	7,82	1,81
Минимальное Minimum	3,39	3,91	3,91	2,66	0,87
Стандартное отклонение Standard deviation	0,87	1,43	1,49	1,85	0,32

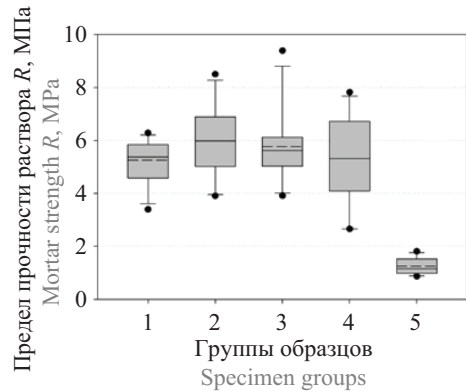


Рис. 5. Диаграмма размаха прочности при сжатии цементно-песчаных растворов

Fig. 5. Box-plots of sand-cement mortar compression strength

Наименьшую прочность сцепления продемонстрировали группы образцов 4-1, 9-1, 6-1 и 2-1. Выявлено, что предварительное смачивание поверхности ТМД, последующая тепловлажностная обработка (прогрев), предварительная строжка поверхности, а также использование хвойной ТМД отрицательно влияют на силу сцепления раствора с древесиной. Это объясняется, во-первых, тем, что при предварительном смачивании ТМД происходит обогащение поверхностных слоев водой, в результате чего процесс гидратации цемента и образования ЦК происходит с меньшим проникновением цементных зерен в поверхностные микрослои ТМД по сравнению с сухой поверхностью, в которой после укладки раствора под действием капиллярных сил древесины наблюдается естественное притяжение воды и цементного раствора. Во-вторых, негативное влияние на силу сцепления оказывает последующий процесс естественного высыхания поверхности древесины, протекающий совместно с твердением раствора, создающий в ней отрицательную (выталкивающую) капиллярную силу. В-третьих, ТМД характеризуется более низким показателем равновесной влажности в сравнении с натуральной древесиной. При стандартных условиях

($T = 20 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ и $\varphi = 60 \pm 5 \text{ \%}$) он составляет у ТМД 2–4 % против 12 % у натуральной древесины. Тепловлажностная обработка, как и процесс сушки древесины, также создает выталкивающую силу, стремящуюся вывести избыток воды и влаги из древесины вместе с цементными зернами.

Строганая поверхность ТМД наряду с более худшей смачиваемостью имеет меньшую шероховатость и, соответственно, меньшую адгезию с ЦК.

У хвойной древесины низкая адгезия может быть обусловлена большей смолистостью, которая в процессе термической модификации была разнесена агентом (перегретым паром) и осажена на поверхности древесины. Для уточнения данного предположения необходимо провести сравнительные экспериментальные исследования с промытой (очищенной) хвойной ТМД.

Таким образом, исследуя на элементарном уровне взаимодействие ТМД и ЦК как в термодревбетоне, так в других древесно-цементных композициях, следует уделить основное внимание содержанию цементного вяжущего в растворах и породному составу термически модифицированного древесного заполнителя.

Цементно-песчаные растворы, приготовленные на разных водах (рис. 6, 7), показали несущественное отличие по прочности на сжатие.

Несмотря на то что практикующие строители дают положительные рекомендации по использованию ПВА-эмульсии для достижения повышенных

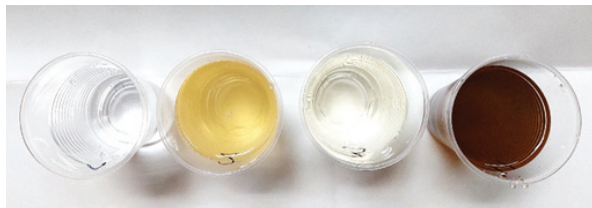


Рис. 6. Вода для приготовления цементно-песчаного раствора, слева-направо: чистая техническая вода; настоянная на натуральной древесине; настоянная на промытой (очищенной) ТМД и настоянная на ТМД (неочищенная)

Fig. 6. Water for sand-cement mortar specimen preparation (left to right): clean water; water infused with unmodified pine wood; water infused with cleaned thermally modified timber; water infused with original thermally modified timber

адгезионных, пластичных и прочностных свойств растворов и бетонов, было установлено, что применение 5%-ного раствора поливинилацетатной эмульсии негативно влияет на прочность материала. То есть речь идет о существенно меньшей концентрации эмульсии по сравнению с рекомендациями, где соотношение указывается не к объему воды для приготовления, а к объему приготавливаемого раствора или бетона. Образцы, полученные с добавлением раствора ПВА-эмульсии, имели прочность на сжатие 1,25 МПа, что на 76 % ниже прочности стандартного раствора, равного 5,25 МПа.

С точки зрения химического состава такая закономерность может быть объяснена тем, что поливинилацетат, входящий в указанную эмульсию, является сложным эфиром, состоящим из поливинилового спирта и уксусной кислоты, которая, в свою очередь, имеет негативное влияние на цементные растворы и бетоны. Также уксусная кислота и другие органические растворители, присутствующие в древесине, служат хорошим растворителем поливинилацетата, ввиду чего могут проходить реакции его разложения, что, в свою очередь, также негативно влияет на процесс гидратации цемента и набора прочности, как и в экспериментальном растворе (группа 5-2). Следует учитывать возможное влияние других веществ и добавок, входящих в состав поливинилацетатной эмульсии, однако таких данных нет. Их доля в эмульсии небольшая, по сравнению

с поливинилацетатом около 5–15 %. Для уточнения реального влияния поливинилацетатной эмульсии и других добавок на цементные растворы и бетоны требуется проведение углубленных исследований как на чистой технической воде, так и на воде, контактирующей (настоянной) на различных разновидностях (класс модификации, порода и т.д.) ТМД.

Интерес также вызывают результаты исследования, полученные по группам образцов с 1-2 по 4-2. В соответствии с предположением о снижении количества экстрактивных веществ в процессе модификации и последующей промывки, а также с утверждением об общем негативном влиянии экстрактивных веществ на процесс гидратации цемента, прочность на сжатие должна была иметь абсолютно обратную закономерность и располагаться по возрастанию следующим образом:

- 1) на натуральной древесине — группа 2-2;
- 2) на ТМД (неочищенной) — группа 3-2;
- 3) на промытой ТМД (очищенной) — группа 4-2;
- 4) на чистой технической воде — группа 1-2.

Имеются результаты, характеризующие значительное замедление интенсивности набора прочности цементных растворов в композиции с натуральной древесиной. Таким образом, необходимы исследования не только прочности полностью затвердевших и выдержанных в течение 28 суток растворов и бетонов, но и изучение динамики набора прочности. Это обусловлено научно-практическим интересом в области технологии создания ТДБ, а именно разработки способов изготовления и путей интенсификации промышленных процессов производства качественного термодревбетона, изделий и конструкций из него.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

При использовании термически модифицированной древесины в качестве заполнителя в ТДБ и других древесно-цементных композициях следует учитывать меньшую по сравнению с обычной древесиной смачиваемость, что негативно влияет на адгезионные свойства заполнителя и ЦК. Выявлено, что прочность сцепления ТМД по сравнению с древесиной в натуральном виде ниже на 52 % и составляет 0,0043 МПа. Более низкие показатели имела ТМД сосны (хвойные), полученная при том же классе термической модификации (180–185 °С).

Также установлено, что негативное влияние имеет предварительное увлажнение или смачивание ТМД, которое может происходить во время хранения сырья или в процессе предварительного очищения путем промывки. Особенности протекания процессов гидратации цементных вяжущих связаны с худшим поверхностным проникновением растворенных цементных зерен в поверхностные микрослои вымоченной ТМД по сравнению с сухой.

ТМД, полученная при более низком классе термической модификации (160–165 °С), не отличается

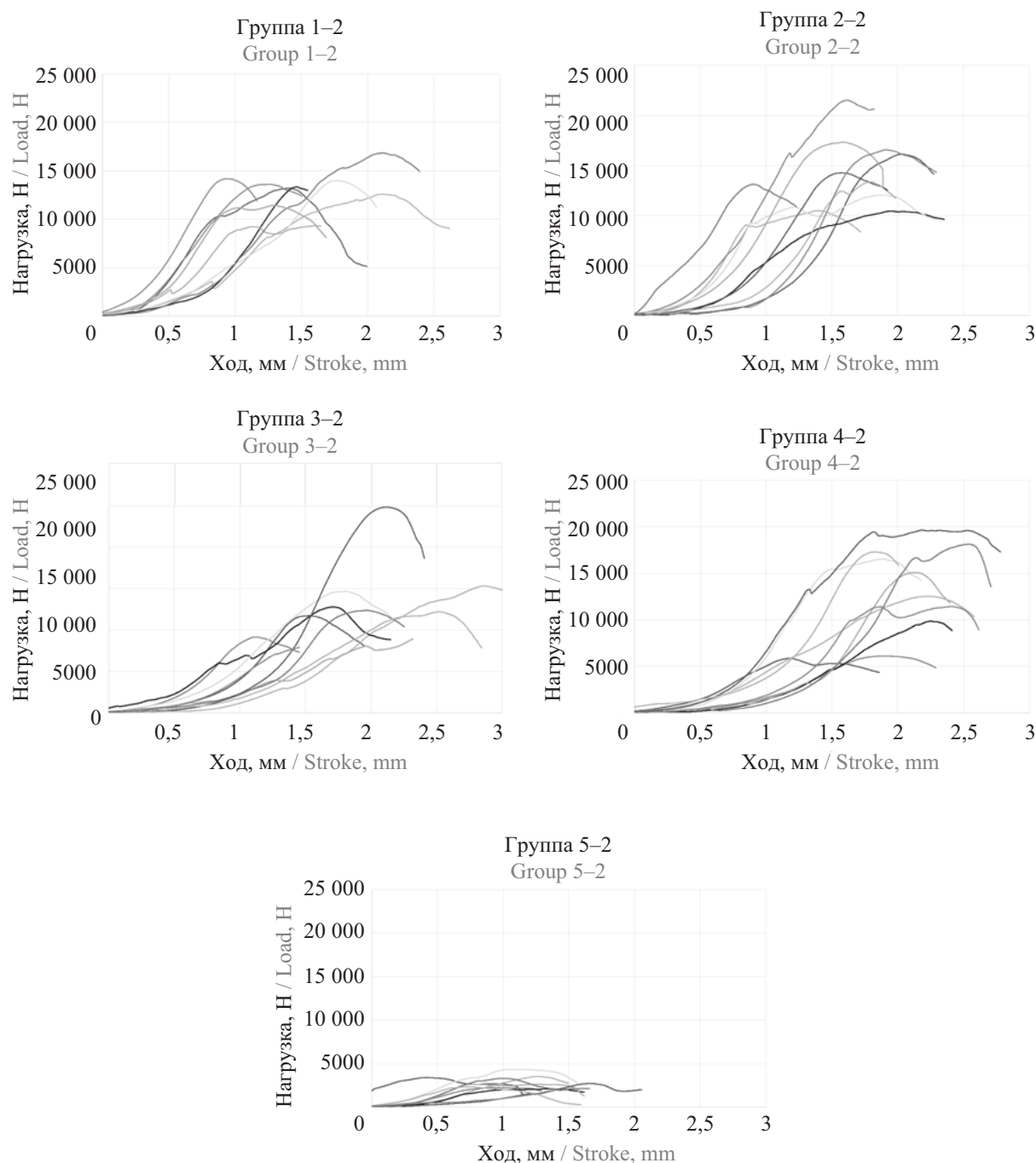


Рис. 7. Диаграммы нагружения образцов из цементно-песчаного раствора по группам (см. табл. 2)

Fig. 7. Loading diagrams for sand-cement mortar specimen tested in compression by groups (see Table 2)

повышенной прочностью адгезии с цементно-песчаным раствором и, наоборот, показала в ходе эксперимента более низкие показатели.

Раствор поливинилацетатной эмульсии может иметь как положительное, так и негативное влияние на прочность ТМД цементной композиции. Так, прочность сцепления вымоченной ТМД с эмульсией составила 0,0020 МПа, при этом прочность сцепления вымоченной ТМД без добавления эмульсии —

0,0003 МПа, что на 85 % ниже. Однако выявлено, что ее использование существенно снижает прочность ЦК, связывающего ТМД заполнитель и выполняющего основную механическую (удерживающую) функцию внутри материала. Добавление 5%-ного раствора ПВА-эмульсии в воду для приготовления цементно-песчаного раствора, настоянной на неочищенной ТМД, снизила ее прочность на сжатие на 76 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горностаева Е.Ю., Ласман И.А., Федоренко Е.А., Камоза Е.В. Древесно-цементные композиции с модифицированной структурой на макро-, микро- и наноуровнях // Строительные материалы. 2015. № 11. С. 13–16.
2. Наназашвили И.Х. Быстровозводимые малоэтажные монолитные дома из арболита. Часть 1 // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2009. № 11 (130). С. 14–15. EDN WCYJFU.
3. Наназашвили И.Х., Марданов М.К. Производство арболита из древесных отходов. М. : ЦБНТИ Минпромстроя СССР, 1974. 47 с.
4. Al-Akhras N., Abu Alfoul B. Effect of wheat straw ash on mechanical properties of autoclaved mortar // Cement and Concrete Research. 2002. Vol. 32. Issue 6. Pp. 859–863. DOI: 10.1016/S0008-8846(02)00716-0
5. Badilla P., Letelier G.V., Aros P., Careau F. Analysis of the mechanical and thermal behaviour of mortars manufactured with combined use of different waste products // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 503. Issue 1. P. 012017. DOI: 10.1088/1755-1315/503/1/012017
6. Крутов П.И., Склизов Н.И., Наназашвили И.Х., Сироткина Р.Б. и др. Использование отходов древесины для получения эффективных строительных материалов : обзор. М. : ОНТИ ЦНИИЭПсельстроя, 1978. 24 с.
7. Sanaev V.G., Zaprudnov V.I., Gorbacheva G., Oblivin A.N. Factors affecting the quality of wood-cement composites // Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering. 2016. Vol. 9. Issue 2. Pp. 63–70. EDN YVARJX.
8. Ramdane R., Kherraf L., Abdelouahed A., Belachia M. Influence of biomass ash on the performance and durability of mortar // Civil and Environmental Engineering Reports. 2022. Vol. 32. Issue 2. Pp. 53–71. DOI: 10.2478/ceer-2022-0019
9. Verma Sh., Singh A., Gupta R., Sundriyal S. The Effect of Wood Ash on the Workability, Water Absorption, Compressive Strength in Cement Mortar // International Journal for Modern Trends in Science and Technology. 2023. Vol. 9. Issue 4. Pp. 368–373. DOI: 10.46501/IJMTST0904054
10. Liu Z., Han Ch., Li Q., Li Xi., Zhou H., Song Xi. et al. Study on wood chips modification and its application in wood-cement composites // Case Studies in Construction Materials. 2022. Vol. 17. P. e01350. DOI: 10.1016/j.cscm.2022.e01350
11. Liu Z., Han Ch., Li Xi., Zhou H., Song Xi., Zu F. Study on wood chips modification and its effect on the mechanical properties of wood-cement composite material // SSRN Electronic Journal. 2022. DOI: 10.2139/ssrn.4020085
12. Song X., Liu Z., Li X., Zhou H., Han C. Surface modification of wood and its effect on the interfacial bonding properties of cement-based wood composites // European Journal of Wood and Wood Products. 2023. Vol. 81. Issue 4. Pp. 897–909. DOI: 10.1007/s00107-023-01926-7
13. Altgen M., Adamopoulos S., Militz H. Wood defects during industrial-scale production of thermally modified Norway spruce and Scots pine // Wood Material Science & Engineering. 2017. Vol. 12. Issue 1. Pp. 14–23. DOI: 10.1080/17480272.2014.988750
14. Boonstra M.J., van Acker J., Kegel E.M. Optimisation of a two-stage heat treatment process: durability aspects // Wood Science and Technology. 2007. Vol. 41. Issue 1. Pp. 31–57. DOI: 10.1007/s00226-006-0087-4
15. Cai Ch., Heräjärvi H., Haapala A. Effects of environmental conditions on physical and mechanical properties of thermally modified wood // Canadian Journal of Forest Research. 2019. Vol. 49. Issue 11. Pp. 1434–1440. DOI: 10.1139/cjfr-2019-0180
16. Hill C. Wood Modification: Chemical, thermal and other processes. John Wiley & Sons, 2006. P. 239.
17. Hill C., Altgen M., Rautkari L. Thermal modification of wood — a review: chemical changes and hygroscopicity // Journal of Materials Science. 2021. Vol. 56. Issue 11. Pp. 6581–6614. DOI: 10.1007/s10853-020-05722-z
18. Militz H. Thermal treatment of wood: European processes and their background. The 33rd annual meeting of The International Research Group on Wood Preservation. Cardiff-Wales, 2002.
19. Hakkou M., Petrissans M., Gerardin P., Zoualalian A. Investigations of the reasons for fungal durability of heat-treated beech wood // Polymer Degradation and Stability. 2006. Vol. 91. Issue 2. Pp. 393–397. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2005.04.042
20. Чернов В.Ю., Гайсин И.Г., Палкин А.А., Мальцева Е.М. Бетон на основе наполнителя из ТМД: особенности материала и перспективы использования // Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса : мат. IV Междунар. науч.-практ. конф. 2021. С. 103–106. EDN PELBFA.
21. Сафин Р.Г., Степанов В.В., Хайруллина Э.Р., Гайнуллина А.А., Степанова Т.О. Современные строительные композиционные материалы на основе древесных отходов // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 20. С. 123–128. EDN SYAHCX.
22. Хасанишин Р.Р. Термическое модифицирование древесного наполнителя в производстве композиционных материалов : дис. ... д-ра техн. наук. Казань, 2019. 424 с.

23. Guo A., Aamiri O.B., Satyavolu J., Sun Z. Impact of thermally modified wood on mechanical properties of mortar // *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 208. Pp. 413–420. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.03.016

24. Fu Q., Yan L., Thielker N.A., Kasal B. Effects of concrete type, concrete surface conditions and wood species on interfacial properties of adhesively-bonded timber — Concrete composite joints // *International Journal of Adhesion and Adhesives*. 2021. Vol. 107. P. 102859. DOI: 10.1016/j.ijadhadh.2021.102859

25. Kostic S., Merk V., Berg J., Hass P., Burgert I., Cabane E. Timber-mortar composites: The effect of sol-gel surface modification on the wood-adhesive interface // *Composite Structures*. 2018. Vol. 201. Pp. 828–833. DOI: 10.1016/j.compstruct.2018.06.108

26. Giv A.N., Fu Q., Yan L., Kasal B. The effect of adhesive amount and type on failure mode and shear strength of glued timber-concrete joints // *Construction and Building Materials*. 2022. Vol. 345. P. 128375. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.128375

Поступила в редакцию 2 мая 2023 г.

Принята в доработанном виде 3 мая 2023 г.

Одобрена для публикации 29 августа 2023 г.

ОБ АВТОРАХ: **Василий Юрьевич Чернов** — кандидат технических наук, доцент кафедры стандартизации, сертификации и товароведения; **Поволжский государственный технологический университет (ПГТУ)**; 424000, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. им. Ленина, д. 3; РИНЦ ID: 725875, ResearcherID: X-4439-2019, ORCID: 0000-0001-9496-7340; chernovvy@volgatech.net;

Евгений Сергеевич Шарапов — доктор технических наук, доцент, профессор кафедры строительных конструкций и водоснабжения; **Поволжский государственный технологический университет (ПГТУ)**; 424000, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. им. Ленина, д. 3; РИНЦ ID: 610570, ResearcherID: B-8151-2014, ORCID: 0000-0002-6500-5377; sharapoves@volgatech.net;

Елена Михайловна Мальцева — магистр, научный сотрудник; **Поволжский государственный технологический университет (ПГТУ)**; 424000, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. им. Ленина, д. 3; lenkamalek@mail.ru;

Екатерина Николаевна Пегушина — магистрант; **Поволжский государственный технологический университет (ПГТУ)**; 424000, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. им. Ленина, д. 3; ekaterinanick-60@yandex.ru.

Вклад авторов:

Чернов В.Ю. — автор и разработчик нового композита, анализ состояния вопроса, концепция исследования, планирование и проведение эксперимента, анализ результатов и итоговые выводы.

Шарапов Е.С. — методология, обработка данных и научное консультирование.

Мальцева Е.М. — подготовка и проведение эксперимента, систематизация данных.

Пегушина Е.Н. — подготовка и проведение эксперимента, систематизация данных.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Gornostaeva E.Yu., Lasman I.A., Fedorenko E.A., Kamoza E.V. Wood-cement compositions with structures modified at macro-, micro-, and nano-levels. *Construction Materials*. 2015; 11:13-16. (rus.).

2. Nanazashvili I.Kh. The “Quick-to-erect” low-rise monolith buildings from the arbolite. Part 1. *Construction materials, equipment, technologies of the XXI century*. 2009; 11(130):14-15. EDN WCYJFU. (rus.).

3. Nanazashvili I.Kh., Mardanov M.K. *Production of wood concrete from wood waste*. Moscow, TsBNTI Minpromstroya SSSR, 1974; 47. (rus.).

4. Al-Akhras N., Abu Alfoul B. Effect of wheat straw ash on mechanical properties of autoclaved mortar. *Cement and Concrete Research*. 2002; 32(6):859-863. DOI: 10.1016/S0008-8846(02)00716-0

5. Badilla P., Letelier G.V., Aros P., Carreau F. Analysis of the mechanical and thermal behaviour of mortars manufactured with combined use of different waste products. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020; 503(1):012017. DOI: 10.1088/1755-1315/503/1/012017

6. Krutov P.I., Sklizkov N.I., Nanazashvili I.Kh., Sirotkina R.B. et al. *The use of wood waste to produce efficient building materials : review*. Moscow, ONTI TsNIIEPsel'stroya, 1978; 24. (rus.).

7. Sanaev V.G., Zaprudnov V.I., Gorbacheva G., Oblivin A.N. Factors affecting the quality of wood-cement composites. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering*. 2016; 9(2):63-70. EDN YVARJX.

8. Ramdane R., Kherraf L., Abdelouahed A., Belachia M. Influence of biomass ash on the performance and durability of mortar. *Civil and Environmental Engineering Reports*. 2022; 32(2):53-71. DOI: 10.2478/ceer-2022-0019
9. Verma Sh., Singh A., Gupta R., Sundriyal S. The effect of wood ash on the workability, water absorption, compressive strength in cement mortar. *International Journal for Modern Trends in Science and Technology*. 2023; 9(4):368-373. DOI: 10.46501/IJMTST0904054
10. Liu Z., Han Ch., Li Q., Li Xi., Zhou H., Song Xi. et al. Study on wood chips modification and its application in wood-cement composites. *Case Studies in Construction Materials*. 2022; 17:e01350. DOI: 10.1016/j.cscm.2022.e01350
11. Liu Z., Han Ch., Li Xi., Zhou H., Song Xi., Zu F. Study on Wood chips modification and its effect on the mechanical properties of wood-cement composite material. *SSRN Electronic Journal*. 2022. DOI: 10.2139/ssrn.4020085
12. Song X., Liu Z., Li X., Zhou H., Han C. Surface modification of wood and its effect on the interfacial bonding properties of cement-based wood composites. *European Journal of Wood and Wood Products*. 2023; 81(4):897-909. DOI: 10.1007/s00107-023-01926-7
13. Altgen M., Adamopoulos S., Militz H. Wood defects during industrial-scale production of thermally modified Norway spruce and Scots pine. *Wood Material Science & Engineering*. 2017; 12(1):14-23. DOI: 10.1080/17480272.2014.988750
14. Boonstra M.J., van Acker J., Kegel E.M. Optimisation of a two-stage heat treatment process: durability aspects. *Wood Science and Technology*. 2007; 41(1):31-57. DOI: 10.1007/s00226-006-0087-4
15. Cai Ch., Heräjärvi H., Haapala A. Effects of environmental conditions on physical and mechanical properties of thermally modified wood. *Canadian Journal of Forest Research*. 2019; 49(11):1434-1440. DOI: 10.1139/cjfr-2019-0180
16. Hill C. *Wood Modification: Chemical, thermal and other processes*. John Wiley & Sons, 2006; 239.
17. Hill C., Altgen M., Rautkari L. Thermal modification of wood — a review: chemical changes and hygroscopicity. *Journal of Materials Science*. 2021; 56(11):6581-6614. DOI: 10.1007/s10853-020-05722-z
18. Militz H. *Thermal treatment of wood: European processes and their background. The 33rd annual meeting of The International Research Group on Wood Preservation*. Cardiff-Wales, 2002.
19. Hakkou M., Petrissans M., Gerardin P., Zoualilian A. Investigations of the reasons for fungal durability of heat-treated beech wood. *Polymer Degradation and Stability*. 2006; 91(2):393-397. DOI: 10.1016/j.polym-degradstab.2005.04.042
20. Chernov V.Yu., Gaisin I.G., Palkin A.A., Maltseva E.M. The concrete based on TMW filler: features of the material and prospects of use. *Actual problems and prospects for the development of the timber industry : IV International scientific-practical conference*. 2021; 103-106. EDN PELBFA. (rus.).
21. Safin R.G., Stepanov V.V., Khairullina E.R., Gainullina A.A., Stepanova T.O. Modern building composite materials based on wood waste. *Bulletin of the Kazan Technological University*. 2014; 17(20):123-128. EDN SYAHCX. (rus.).
22. Hasanshin R.R. *Thermal modification of wood filler in the production of composite materials : doctoral dissertation*. Kazan, 2019; 424 . (rus.).
23. Guo A., Aamiri O.B., Satyavolu J., Sun Z. Impact of thermally modified wood on mechanical properties of mortar. *Construction and Building Materials*. 2019; 208:413-420. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.03.016
24. Fu Q., Yan L., Thielker N.A., Kasal B. Effects of concrete type, concrete surface conditions and wood species on interfacial properties of adhesively-bonded timber — Concrete composite joints. *International Journal of Adhesion and Adhesives*. 2021; 107:102859. DOI: 10.1016/j.ijadhadh.2021.102859
25. Kostic S., Merk V., Berg J., Hass P., Burgert I., Cabane E. Timber-mortar composites: The effect of sol-gel surface modification on the wood-adhesive interface. *Composite Structures*. 2018; 201:828-833. DOI: 10.1016/j.compstruct.2018.06.108
26. Giv A.N., Fu Q., Yan L., Kasal B. The effect of adhesive amount and type on failure mode and shear strength of glued timber-concrete joints. *Construction and Building Materials*. 2022; 345:128375. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.128375

Received May 2, 2023.

Adopted in revised form on May 3, 2023.

Approved for publication on August 29, 2023.

B I O N O T E S : **Vasilij Yu. Chernov** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Standardization, Certification and Merchandising; **Volga State University of Technology (VSUT)**; 3 Lenin sq., Yoshkar-Ola, 424000, Republic of Mari El, Russian Federation; ID RSCI: 725875, ResearcherID: X-4439-2019, ORCID: 0000-0001-9496-7340; chernovvy@volgatech.net;

Evgenij S. Sharapov — Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Building Structures and Water Supply; **Volga State University of Technology (VSUT)**; 3 Lenin sq., Yoshkar-Ola, 424000,

Republic of Mari El, Russian Federation; ID RSCI: 610570, ResearcherID: B-8151-2014, ORCID: 0000-0002-6500-5377; sharapoves@volgatech.net;

Elena M. Mal'ceva — master, researcher; **Volga State University of Technology (VSUT)**; 3 Lenin sq., Yoshkar-Ola, 424000, Republic of Mari El, Russian Federation; lenkamalek@mail.ru;

Ekaterina N. Pegushina — master's student; **Volga State University of Technology (VSUT)**; 3 Lenin sq., Yoshkar-Ola, 424000, Republic of Mari El, Russian Federation; ekaterinanick-60@yandex.ru.

Contributions of the authors:

Vasilij Yu. Chernov — author and developer of a new composite, analysis of the state of the issue, concept of the study, planning and conduct of the experiment, analysis of the results and final conclusions.

Evgenij S. Sharapov — methodology, data processing and scientific advice.

Elena M. Mal'ceva — preparation and conduct of the experiment, systematization of data.

Ekaterina N. Pegushina — preparation and conduct of the experiment, systematization of data.

The authors declare no conflicts of interest.

Оценка влияния противопаводковых сооружений на уровень воды в нижнем течении речной системы Сайгон – Донгнай

Ирина Михайловна Маркова, Фан Хань Хань

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Хошимин — крупнейший город Вьетнама, расположенный в нижнем течении системы рек Сайгон – Донгнай, сталкивается со все более серьезными наводнениями вследствие изменения стока и уровня воды в реке. Приводятся результаты исследования по оценке влияния гидротехнических сооружений, расположенных в верхнем течении, на уровень воды в нижнем течении р. Сайгон – Донгнай.

Материалы и методы. Для оценки влияния вышерасположенных водохранилищ и противопаводковых сооружений на уровень воды в нижнем течении р. Сайгон – Донгнай собраны гидрологические данные речной сети и на основе цифровой модели рельефа разработана гидравлическая модель с применением программного комплекса Mike 11, Mike 21 и Mike Flood.

Результаты. Уровень воды на р. Сайгон от верхнего течения до измерительной станции Тху Зау Мот напрямую зависит от водохранилища Зау Тиенг, а водохранилище Чи Ан напрямую влияет на уровень воды на участке реки за плотиной Чи Ан до участка р. Донгнай в районе Там Ан – Лонг Фуок.

Выводы. На участках рек Сайгон и Донгнай, менее подверженных влиянию двух вышележащих водохранилищ, необходимо разработать превентивные меры для поступления достаточных объемов пресной воды, обеспечивающих потребности населения и отраслей экономики. В районах, подверженных затоплению и подтоплению в результате работы противопаводковых шлюзов, также необходимо провести реконструкцию гидротехнических сооружений (поднять отметки фундаментов, расширить системы дренажа, построить резервуары для сбора паводковой воды и др.).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: гидротехнические противопаводковые сооружения, нижнее течение реки Сайгон – Донгнай, водохранилище Зау Тиенг, водохранилище Чи Ан

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Маркова И.М., Фан Хань Хань. Оценка влияния противопаводковых сооружений на уровень воды в нижнем течении речной системы Сайгон – Донгнай // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. Вып. 9. С. 1408–1421. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.9.1408-1421

Автор, ответственный за переписку: Ирина Михайловна Маркова, markova@mgsu.ru.

Influence of flood control structures on the water level in the downstream of the Saigon – Dong Nai river system

Irina M. Markova, Phan Khanh Khanh

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Ho Chi Minh City, the largest city in Vietnam, located in the lower reaches of the Saigon – Dong Nai river system, is facing increasingly severe flooding due to changes in river flow and water levels. This article presents the results of a study to assess the impact of hydraulic structures located in the upper reaches on the water level in the lower reaches of the SG – DN river.

Materials and methods. To assess the impact of upstream reservoirs and flood control structures on the water level in the lower reaches of the SG – DN river, hydrological data of the river network were collected and a hydraulic model was developed based on a digital elevation model (DEM) using the software package Mike 11, Mike 21 and Mike Flood.

Results. The water level of the Saigon River from the upper reaches to the Thu Dau Mot measuring station directly depends on the Dau Tieng reservoir, and the Tri An reservoir directly affects the water level in the river section from behind the Tri An dam to the Dong Nai section in the Tam An – Long Phuoc area.

Conclusions. In the sections of the Saigon and Dong Nai Rivers less affected by the two upstream reservoirs, it is necessary to develop preventive measures to supply sufficient fresh water to meet the needs of the population and industries. In areas prone to flooding and underflooding as a result of the operation of floodgates, it is also necessary to reconstruct hydraulic structures (raise foundation level, expand drainage systems, build reservoirs to collect flood water etc.).

KEYWORDS: hydraulic flood protection structures, downstream Saigon – Dong Nai, Dau Tieng Reservoir, Tri An Reservoir

FOR CITATION: Markova I.M., Phan Khanh Khanh. Influence of flood control structures on the water level in the downstream of the Saigon – Dong Nai river system. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2023; 18(9):1408-1421. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.9.1408-1421 (rus.).

Corresponding author: Irina M. Markova, markova@mgsu.ru.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы во многих странах мира последствия наводнений становятся все более серьезными, затрагивая не только экономику, но и вызывая миллионы жертв, разрушая дома, сады [1–4]. Ущерб от наводнений оказывается более серьезным в прибрежных городах в развивающихся странах, где меры по борьбе с наводнениями не очень эффективны [1, 4, 5].

Район в нижнем течении рек Сайгон – Донгнай, где расположен г. Хошимин, является крупнейшим финансово-экономическим центром Вьетнама и может быть рассмотрен как типичный пример прибрежного города в Юго-Восточной Азии, столкнувшегося с проблемами, связанными с изменением климата, повышением уровня моря из-за относительно небольшой высоты над его уровнем, быстрым темпом урбанизации, сложной системой каналов и отсутствием мер по борьбе с приливами. В 2005 г. Хошимин вошел в десятку городов мира с наибольшим количеством людей, пострадавших от наводнения [3–6]. А к 2070 г., по прогнозам специалистов, Хошимин войдет в пятерку лучших в мире¹.

Для решения проблемы наводнений в Хошимине в настоящее время осуществляется строительство противопаводковых гидротехнических сооружений согласно государственному Плану ирригации для предотвращения наводнений и борьбы с ними в районе Хошимина в соответствии с Постановлением № 1547/QĐ-TTg. Сооружения инженерной защиты в основном предназначены для борьбы с наводнениями в сезон дождей, а также приливов — в сухой сезон, когда максимальный уровень приливов превышает 1,2 м. Эти противопаводковые сооружения выполнены в виде шлюзов с затворами, которые открываются и закрываются в зависимости от уровня воды в реке. Водохранилища Зау Тиенг и Чи Ан, расположенные в верхнем течении р. Сайгон – Донгнай, также играют определенную роль в регулировании стока вниз по течению.

Изучению режима стока и наносов в нижнем течении р. Сайгон – Донгнай посвящены работы [7–10]. В данных трудах отмечается, что этот район очень чувствителен к изменению климата, повышению уровня моря и землепользованию. Под влиянием указанных факторов меняется режим течения и наносов. В частности, уровень воды на измерительных станциях будет повышаться по прогнозным

сценариям, в ближайшие годы увеличится общее количество аллювия и наносов всего бассейна.

В исследованиях [11–13] показано, что при высоте прилива более 1,2 м приливные шлюзы будут закрыты, что окажет существенное влияние на уровень воды внешней территории противопаводковых сооружений. Проникновение соленой воды создает трудности для аквакультуры, сельского хозяйства и получения пресной воды для повседневной жизни людей.

Очевидно, что эти исследования сосредоточены только на оценке влияния изменения климата, подъема уровня моря и землепользования на режим стока, аллювиальный режим, качество воды и процесс инфильтрации морских вод и так далее в бассейне р. Сайгон – Донгнай. Необходимо отметить, что не изучалась оценка воздействия противопаводковых сооружений и водохранилищ выше по течению на уровень воды в нижнем течении реки р. Сайгон – Донгнай.

В настоящей работе оценивается влияние противопаводковых работ и водохранилищ на уровень воды в нижнем течении р. Сайгон – Донгнай. Результаты исследования имеют практическое значение для оказания помощи градостроительным и управляющим органам в выработке рекомендаций и разработке сценариев предотвращения наводнений с целью минимизации воздействия стихийных бедствий на жизнь людей и жизнедеятельность окружающей среды в нижнем течении р. Сайгон – Донгнай. Важно определить влияние двух водохранилищ вверх по течению реки, чтобы помочь людям по обеим сторонам реки активно использовать воду для выращивания риса, фруктовых деревьев и отбора водных видов, пригодных для выращивания.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Использовались программы Mike 11, Mike 21 и Mike Flood для оценки влияния водохранилищ и противопаводковых сооружений на уровень воды в нижнем течении р. Сайгон – Донгнай. Основные параметры этих конструкций представлены ниже.

Областью исследования является нижнее течение р. Сайгон – Донгнай. Этот район примыкает к дельте Меконга на юго-западе, Восточному морю на юге и юго-востоке, к югу от центральных провинций Вьетнама на северо-востоке (рис. 1). В районе имеется переплетенная система рек и каналов, на которые влияет тропический муссонный климат и уровень приливов в Восточном море.

Расположенное в верхнем течении р. Сайгон водохранилище Зау Тиенг используется с 1985 г. для обеспечения водой сельскохозяйственного про-

¹ Всемирный банк. Климатические риски и адаптация в прибрежных мегаполисах Азии // Сводный отчет. 2016.

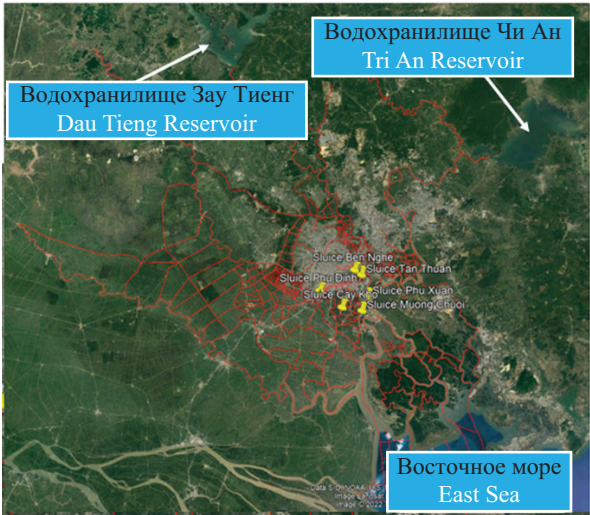


Рис. 1. Нижнее течение р. Сайгон – Донгнай

Fig. 1. The lower reaches of the Saigon – Dong Nai river

изводства и повседневной жизни в провинциях Тай Нинь, Бинь Зьонг, Лонг Ан и Хошимин, уменьшения наводнений. Это крупнейшее искусственное водохранилище во Вьетнаме объемом $1580 \times 10^9 \text{ м}^3$, проектным расходом $2800 \text{ м}^3/\text{с}^2$. Строительство водохранилища Чи Ан было начато в 1984 г. и завер-

² Решение 2597/QĐ-BNN-TCTL. Порядок эксплуатации водохранилища Зау Тиенг. Министерство сельского хозяйства и развития села. Ханой, 23 октября 2012 г.

шено в начале 1987 г. Это искусственное озеро, расположенное на р. Донгнай, емкостью $2765 \times 10^6 \text{ м}^3$, с расчетным расходом $19\,580 \text{ м}^3/\text{с}$ является водохранилищем ГЭС Чи Ан мощностью 400 МВт с годовой выработкой электроэнергии 1,7 млрд кВт·ч³.

28 октября 2008 г. премьер-министр утвердил План ирригации для предотвращения наводнений и борьбы с ними в районе Хошимина в соответствии с Постановлением № 1547/QĐ-TTg, согласно документу, в городе будут построены противопаводковые сооружения. Их расположение показано на рис. 2.

Фактически только в середине мая 2016 г. эти противопаводковые работы были начаты и по состоянию на май 2021 г. построено около 90 % приливных шлюзов. Технические параметры этих сооружений представлены в табл. 1.

Mike 11 — универсальный инженерный инструмент для одномерного моделирования гидродинамических условий в реках⁴. Mike 11 HD решает уравнения Сен-Венана для определения гидродинамического состояния речных сетей. Гидродинамическая (HD) модель способна моделировать одномерный нестационарный поток в сети рек с использованием гидродинамического волнового под-

³ Решение 2700/QĐ-ВСТ. Порядок эксплуатации водохранилища гидроэлектростанции Чи Ан. Минпромторг. Ханой, 2 августа 2018 г.

⁴ DHI-MIKE 11. Система моделирования рек и каналов // Справочное руководство. 2007.

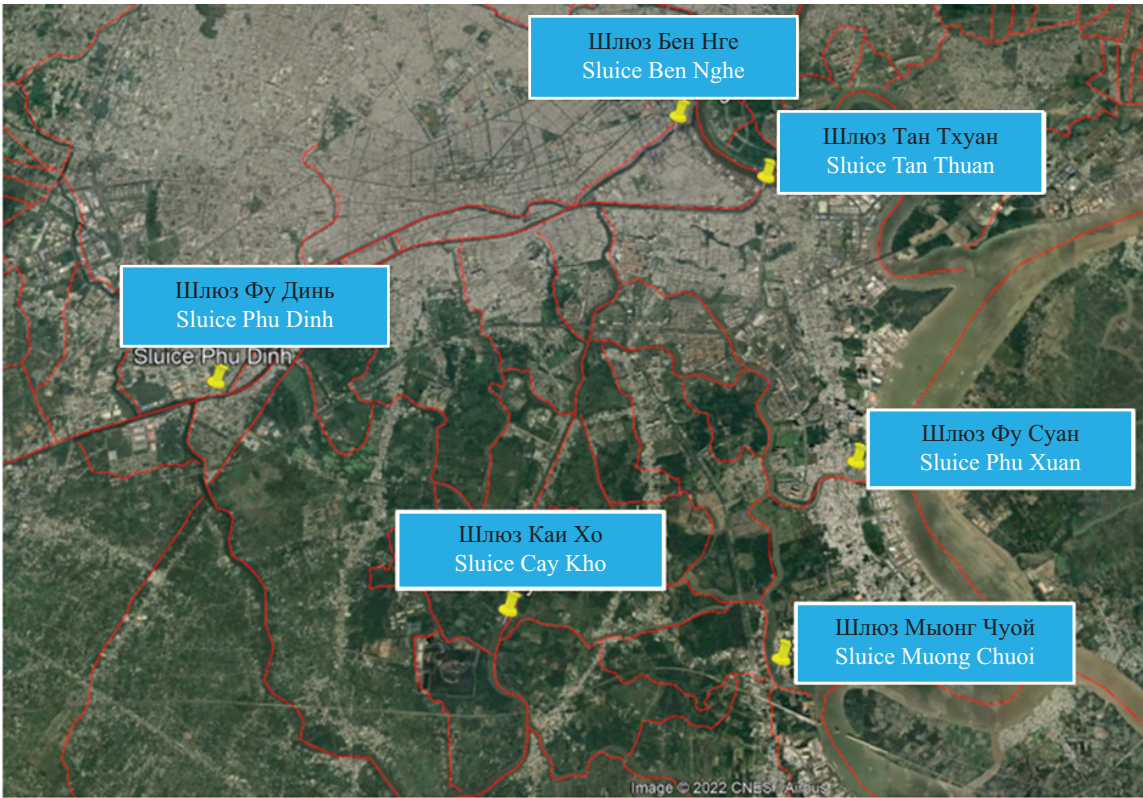


Рис. 2. Положение противопаводковых сооружений

Fig. 2. Position of flood control structures

Табл. 1. Технические параметры шлюзов для контроля приливов и отливов

Table 1. Technical parameters of sluices for tide control

Шлюз Sluices	Фу Динь Phu Dinh	Кай Хо Cay Kho	Бен Нге Ben Nghe	Тан Тхуан Tan Thuan	Фу Суан Phu Xuan	Мьонг Чуой Muong Chuoi
Ширина камеры, м Camera width, m	40	40	40	40	80	160
Количество камеры Number of cameras	1	2	1	1	2	4
Отметка порога, м Threshold mark, m	−5,5	−5,5	−5,5	−5,5	−5,0	−6,5 ÷ −10
Отметка затвора, м Shutter mark, m	+3,0	+3,0	+3,0	+3,0	+3,0	+3,0
Отметка оголовков шлюзы, м Marking of the head gateways, m	+3,5	+3,0	+3,0	+3,5	+3,5	+3,5

хода. Пять основных входных параметров, которые необходимо указать для установки Mike 11 HD, — это схема речной сети, поперечные сечения, граничные условия, гидродинамические параметры и параметры моделирования. Речное поперечное сечение модели показано на рис. 3.

Двумерный Mike 21 решает полные, зависящие от времени, нелинейные уравнения неразрывности и сохранения импульса [14, 15]. Mike 21 разрешает решение, используя неявную конечно-разностную схему второго порядка точности. Входным параметром модели Mike 21 является цифровая модель рельефа, полученная из LiDAR DEM для изучаемой области, которая была обработана для получения батиметрии в качестве входных данных для Mike 21. Разрешение входной батиметрии составляло 30 × 30 м, а принятый временной шаг — 30 с для

различных моделей. На рис. 4 приведена батиметрия, используемая в районе исследования.

Речная сеть Mike 11 была подключена к батиметрии Mike 21 с использованием опции боковой связи, доступной в Mike Flood [16, 17]. Степень затопления и глубина в пойме для избыточной воды рассчитывается с помощью Mike 21. Другие параметры для боковых связей левого и правого берега, такие как коэффициент импульса, коэффициент водослива и коэффициент допустимой глубины, сохраняются по умолчанию. Период моделирования как для Mike 11, так и для Mike 21 был сохранен одинаковым, а шаг расчетного времени модели доведен до низкого значения 30 с, чтобы число Куранта (Cr) было меньше или равно 1, чтобы достичь стабильной симуляции, Mike Flood работает без ошибок. Установка Mike Flood вместе с рекой

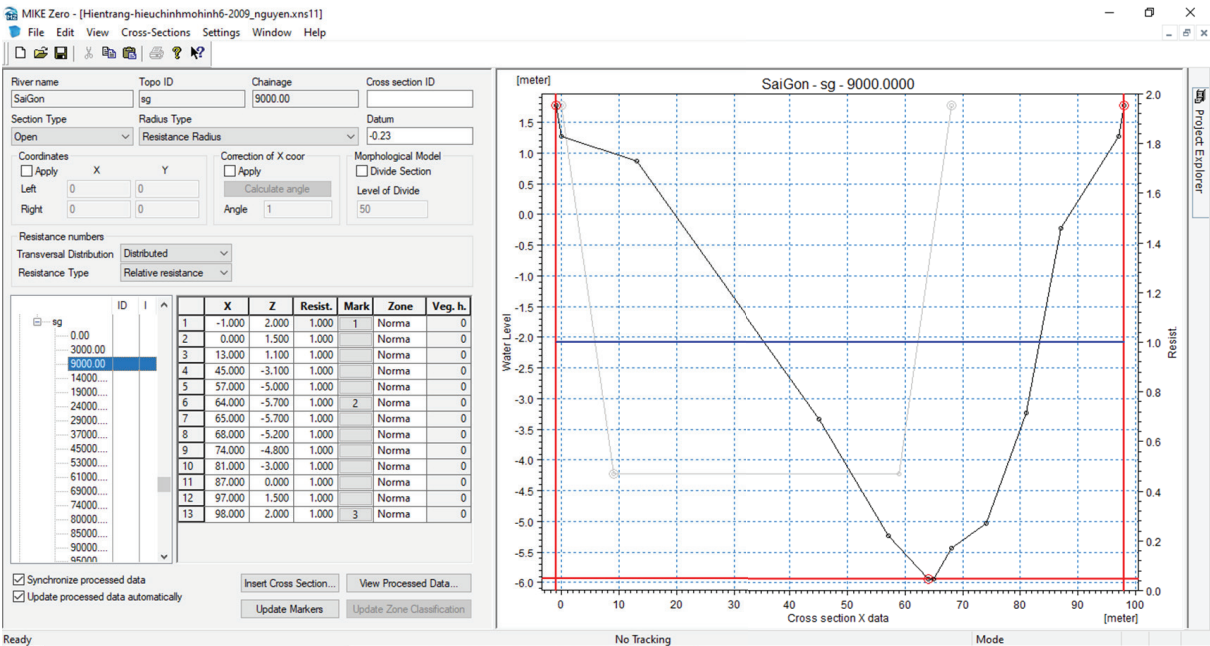


Рис. 3. Речное поперечное сечение модели Mike 11

Fig. 3. River cross-section of the Mike 11 model

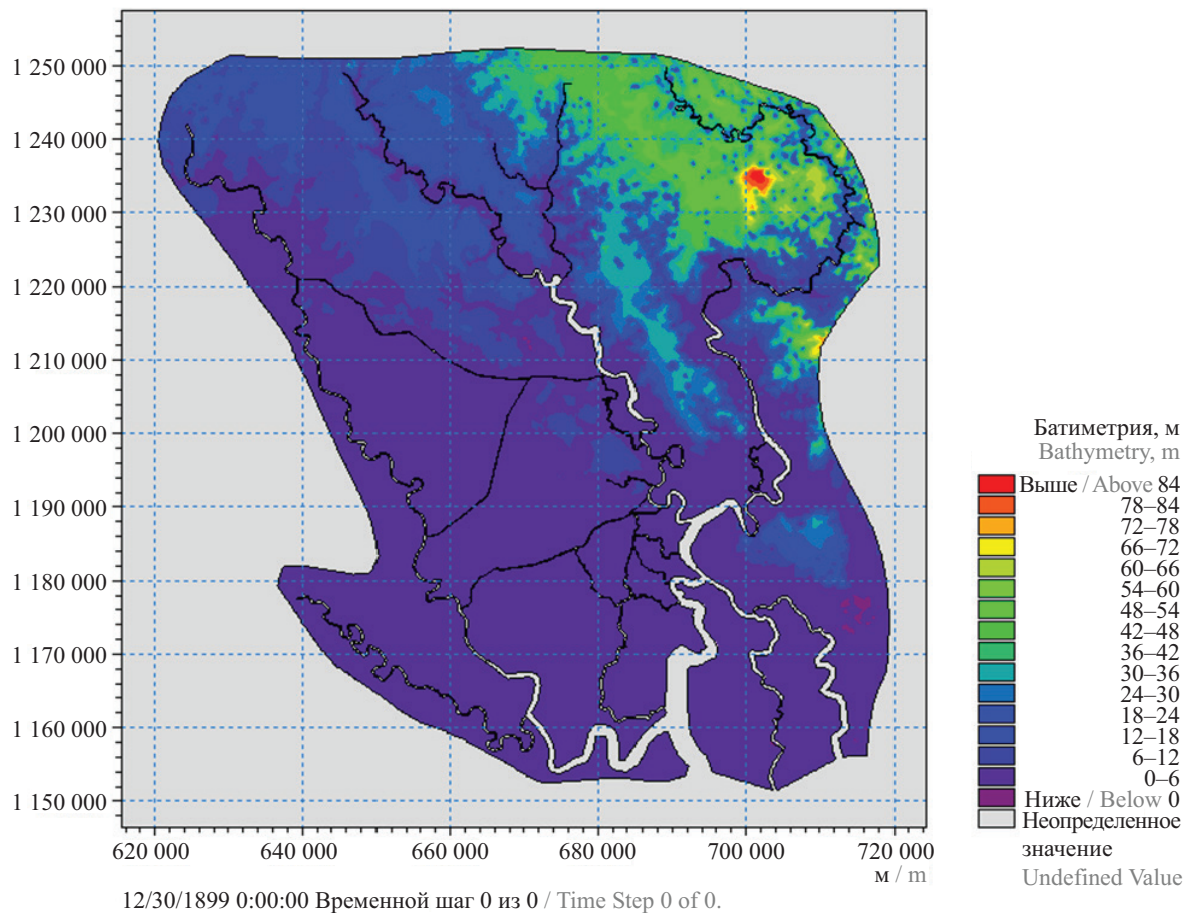


Рис. 4. Батиметрия, используемая в изучаемой области

Fig. 4. Bathymetry used in the studied area

(Mike 11) и обоими боковыми звеньями (Mike 21) показана на рис. 5.

Цель данного исследования — оценка влияния водохранилищ и противопаводковых сооружений на уровень воды в системе р. Сайгон – Донгнай в нижнем течении, поэтому разрабатываются расчетные сценарии по годам с типовыми характеристиками стока на основе расходов из водохранилищ, расположенных вверх по течению. На рис. 6 видно, что за 24 года (1988–2012 гг.) существует закономерность между величиной сброса водоемов в года. Согласно этому правилу, сток воды из озер через много лет будет достаточно большим, в последующие годы его величина значительно уменьшится. В годы большого стока происходит резкое увеличение расхода стока за 1 год, аналогично в годы с малым стоком из водохранилища происходит резкое уменьшение расхода стока 1 года.

На основе приведенного выше анализа сценарии расчетов построены для периодов паводка (2000 г.), периодов маловодья (2004 г.) и периодов среднего расхода (1998 г.). Эти сценарии представлены в табл. 2.

Кроме того, сценарии также построены с наибольшим расходом $Q_{\max}$, поступающим в водохранилища Зау Тиенг и Чи Ан с частотой $P = 0,1\%$

(происходит один раз в 1000 лет). На самом деле существует множество различных функций распределения вероятностей, которые были предложены для анализа повторяемости экстремальных переменных в гидрологии (расход воды, уровень воды, осадки и т.д.), эти функции часто перечисляются как семейство функций распределения.

К ним относятся семейство нормальных распределений, семейство экстремальных распределений, семейство гамма, семейство бета, семейство Парето, семейство дефиса и многие другие [18, 19]. Примеры: функция Гумбеля в Европе и Японии, функция GEV в Австралии, функция GEV, GNO и Log-Pearson 3 в Канаде, функция Log-Pearson и Pearson 3 в США и функция GLO в Великобритании⁵ [18]. Во Вьетнаме традиционные расчетные характеристики паводков рассчитываются по кривой распределения вероятностей РЕЗ или GEV [11, 20, 21]. Поэтому значения $Q_{\max}$ ($P = 0,1\%$) рассчитываются функцией распределения частоты GEV.

Из частотных кривых распределений на рис. 7 значения $Q_{\max}$ ($P = 0,1\%$) были определе-

⁵ WMO. Water resources management and application of hydrological practice. Guide to hydrological practice. 2009. No. 168. 302 p.

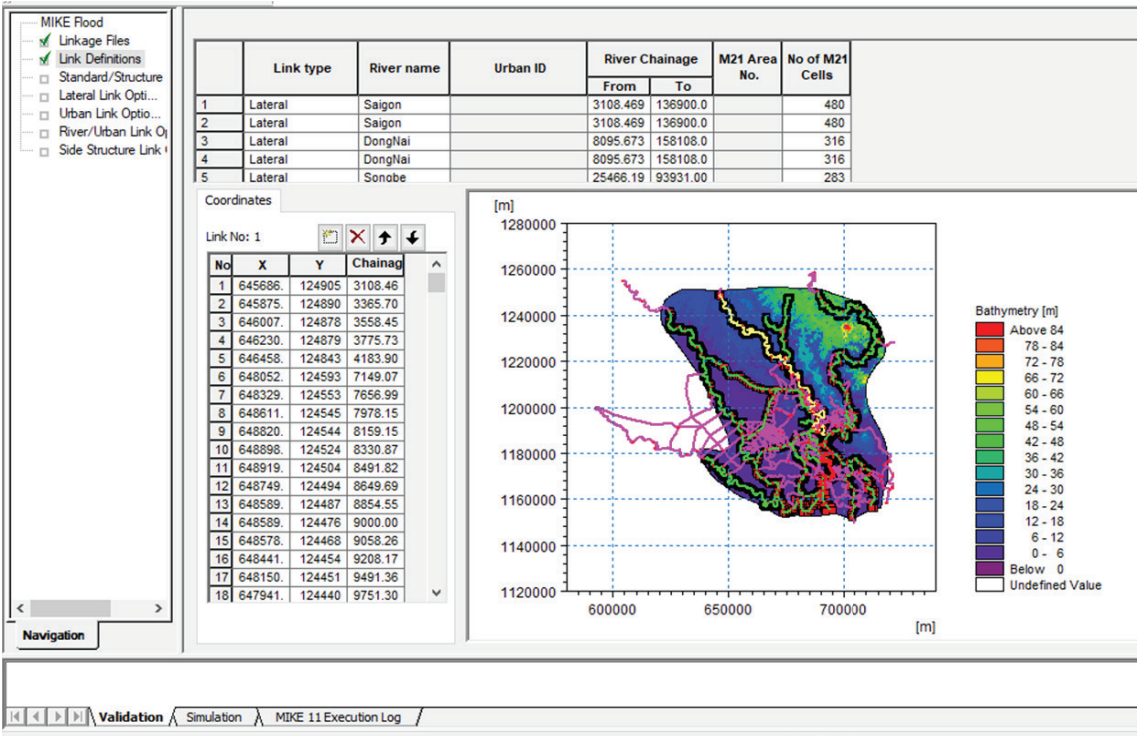


Рис. 5. Схема подключения Mike 11 и Mike 21 в Mike Flood

Fig. 5. Connection diagram of Mike 11 and Mike 21 in Mike Flood

Табл. 2. Сценарии численного моделирования

Table 2. Numerical simulation scenarios

Сценарии / Scenarios	Описание граничного условия / Description of the boundary condition
Сценарий 1 / Scenario 1	Вверх по течению: расход 1998 г. Вниз по течению: уровень приливов на измерительной станции Вунг Тау Upstream: Discharge of 1998 Downstream: tidal level at the Vung Tau measuring station of 1998
Сценарий 2 / Scenario 2	Вверх по течению: расход 2000 г. Вниз по течению: уровень приливов на измерительной станции Вунг Тау Upstream: Discharge of 2000 Downstream: Tidal level at the Vung Tau measuring station of 2000
Сценарий 3 / Scenario 3	Вверх по течению: расход 2004 г. Вниз по течению: уровень приливов на измерительной станции Вунг Тау Upstream: Discharge of 2004 Downstream: tidal level at the Vung Tau measuring station of 2004
Сценарий 4 / Scenario 4	Вверх по течению: $Q_{\max}$ при $P = 0,1 \%$ / Вниз по течению: уровень приливов на измерительной станции Вунг Тау ($H_{\max} = 1,48 \text{ м}$) Upstream: $Q_{\max}$ at $P = 0.1 \%$ Downstream: tidal level at the Vung Tau measuring station ($H_{\max} = 1.48 \text{ m}$)

ны как 1054,5 м³/с (водохранилище Зау Тиенг) и 4870,16 м³/с (водохранилище Чи Ан) соответственно. Информация о расходах воды в водохранилищах используется для создания файлов исходных данных в области верхнего течения для модели Mike 11 (рис. 8).

Между тем уровень приливов на измерительной станции Вунг Тау в 1998, 2000 и 2004 гг. используется в качестве входных данных в нижней части модели Mike 11. При двух сценариях $P = 0,1 \%$ и расчетном Q уровень воды на станции Вунг Тау

принимается равным 1,48 м (наибольшее значение в период с 1980–2014 гг.).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Калибровка и проверка модели

Модель откалибрована с использованием фактических данных, измеренных на гидрологических станциях с 1 октября 2012 г. по 31 декабря 2012 г. Коэффициенты Мэннинга (Manning) и начальный уровень воды в реках скорректированы на разницу между смоделированными и реальными уровнями

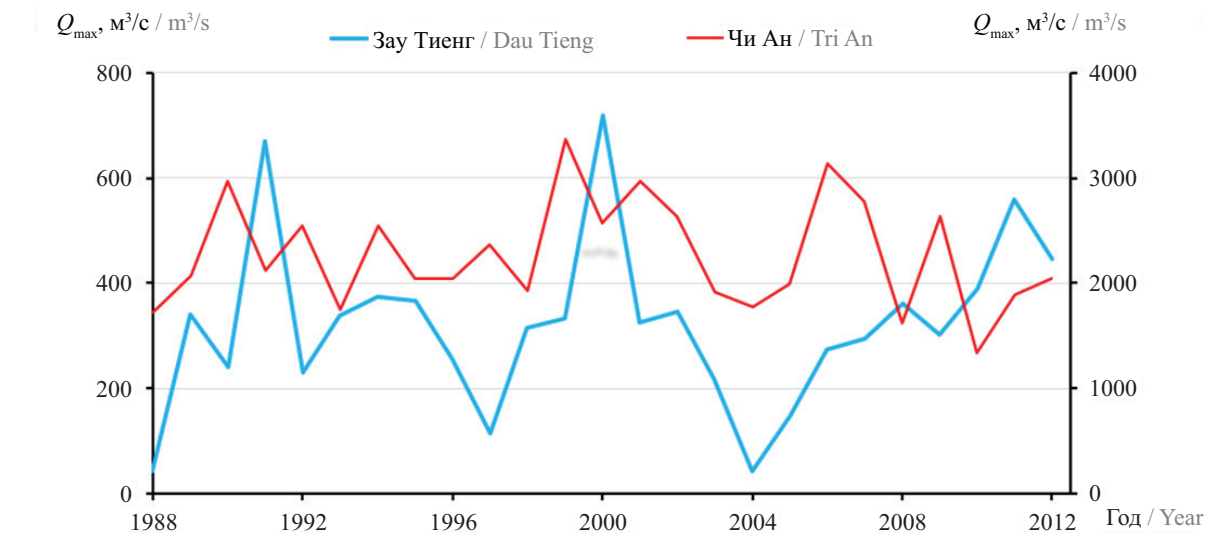


Рис. 6. Объем расхода воды в водохранилищах в период 1991–2011 гг.
Fig. 6. The volume of water consumption came in reservoirs in the period 1991–2011

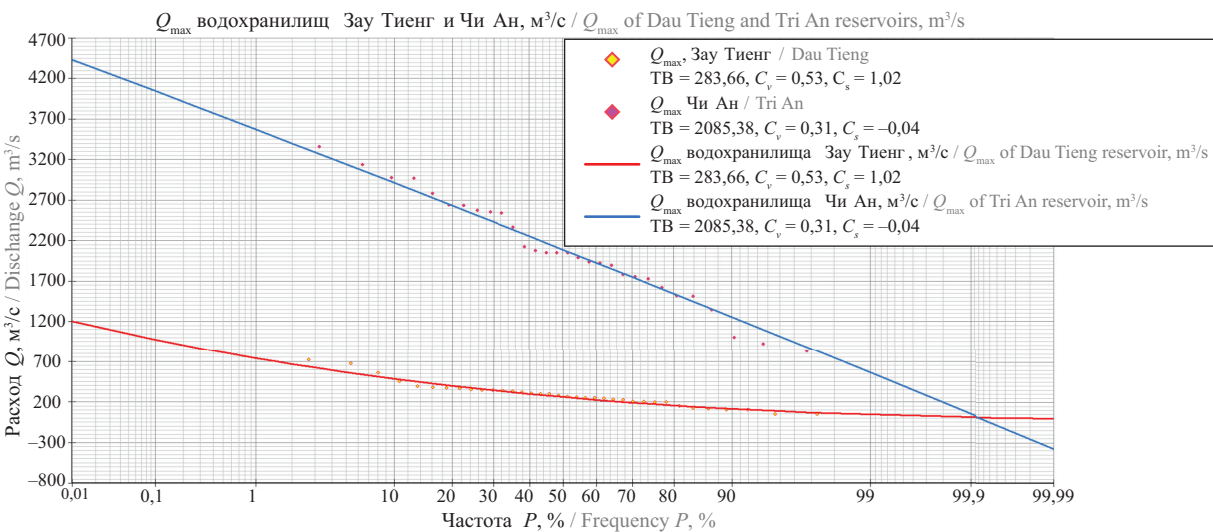


Рис. 7. Кривая частотного распределения Q_{max} водохранилищ Зау Тиенг и Чи Ан
Fig. 7. Frequency distribution curves Q_{max} of Dau Tieng and Tri An reservoirs

воды, измеренными на самых низких станциях Тху Зау Мот, Бьен Хоа, Фу Ан, Нха Бе и Бен Люк. Почасовые уровни воды во время калибровки и проверки на станциях Бьен Хоа, Фу Ан с 1 октября 2000 г. по 16 октября 2000 гг. показаны на рис. 9. Видно хорошее соответствие между смоделированными и наблюдаемыми уровнями воды в разные периоды времени.

Точность численных результатов оценивали с помощью коэффициента детерминации R^2 и коэффициента Нэша – Сатклиффа E_f (Nash – Sutcliffe model efficiency coefficient (NSE)). Значения NSE для часовой калибровки и проверки на всех станциях приведены в табл. 3. Согласно критериям эффективности Мориаси [22], коэффициенты R^2 и E_f показывают, что модель

обладает высокой надежностью при моделировании течения в нижнем бьефе, район р. Сайгон – Донгнай.

Результаты

Для того чтобы лучше рассмотреть изменение расхода стока на реках Сайгон и Донгнай при изменении объема стока водохранилищ, помимо основных измерительных пунктов, в данной работе выбраны точки C1-C4 на р. Сайгон и Д1-Д8 на р. Донгнай для анализа. Эти точки отмечены на рис. 10, результаты расчета по сценариям представлены в табл. 4, 5.

Данные табл. 4 показывают, что при увеличении расхода стока из водохранилищ по соответствующим сценариям уровень воды на измерительных постах на реках Сайгон и Донгнай меняется, но это

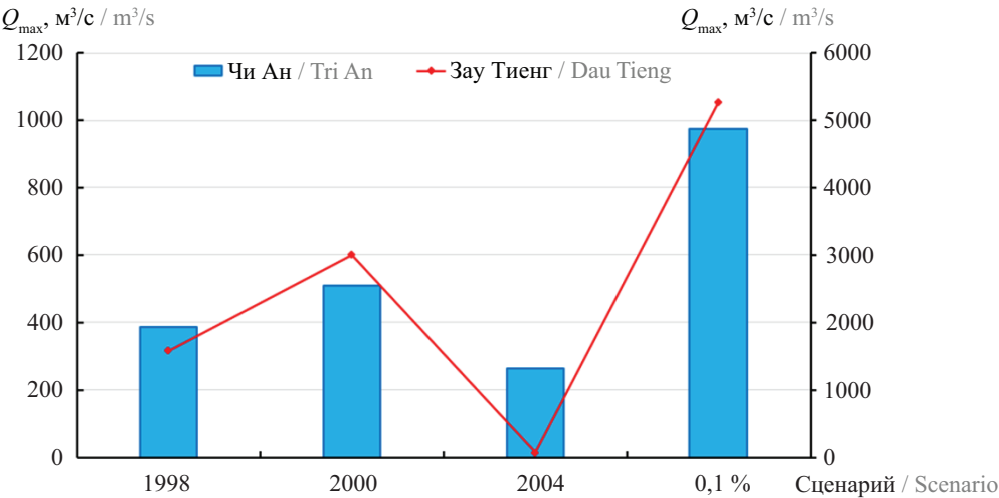


Рис. 8. Данные о расходах воды в водохранилищах
Fig. 8. Data on water consumption in reservoirs

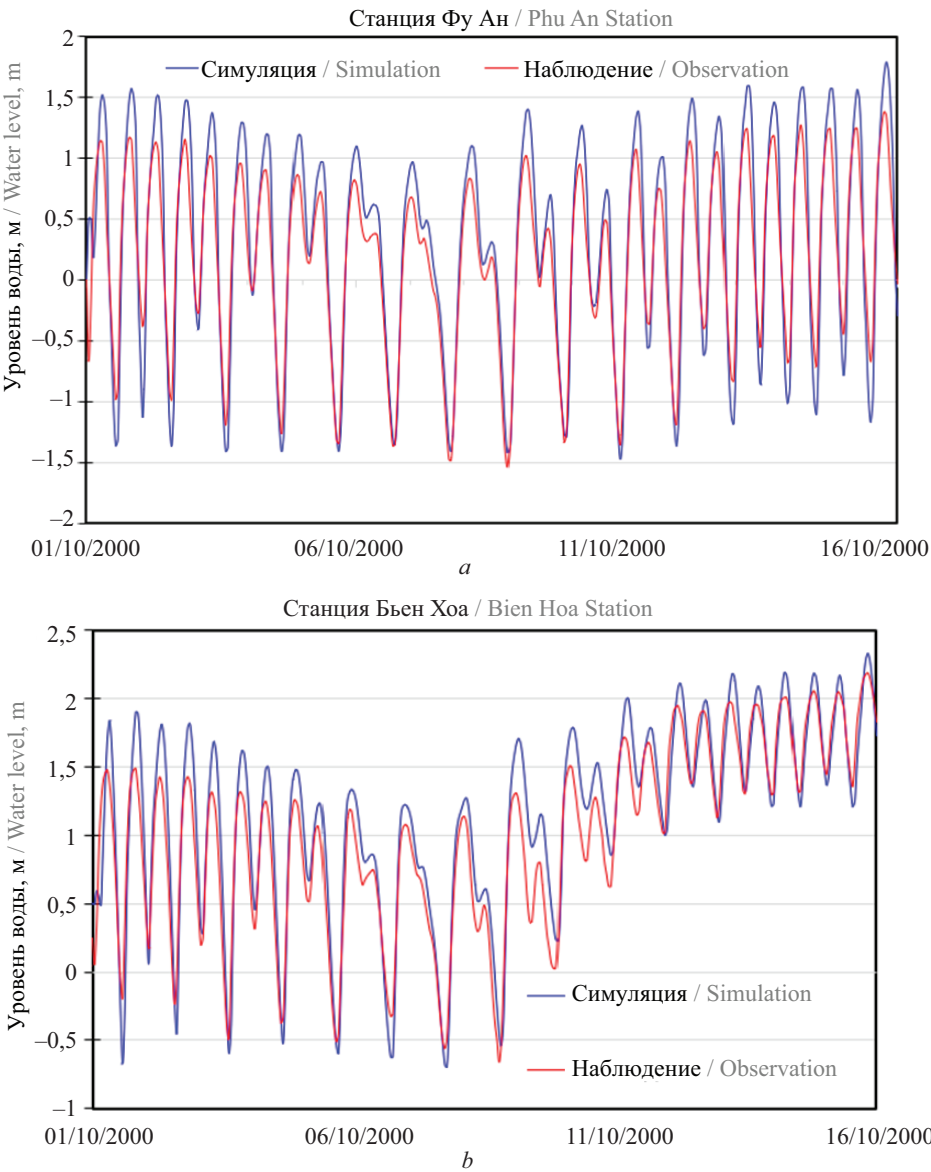


Рис. 9. График сравнения наблюдаемого и смоделированного уровня воды на станциях Фу Ан (a); Бьен Хоа (b)
Fig. 9. Comparison graph of the observed and simulated water level at the stations of Phu An (a); Bien Hoa (b)

Табл. 3. Производительность MIKE 11 для моделирования уровня воды

Table 3. The performance of MIKE 11 for water level modelling

Станция Station	Калибровка / Calibration		Проверка / Validation	
	(01.10.2012 – 31.12.2012)		(01.10.2000 – 16.10.2000)	
	R^2	E_f	R^2	E_f
Бьен Хоа / Bien Hoa	0,95	0,81	0,93	0,87
Фу Ан / Phu An	0,97	0,86	0,96	0,81

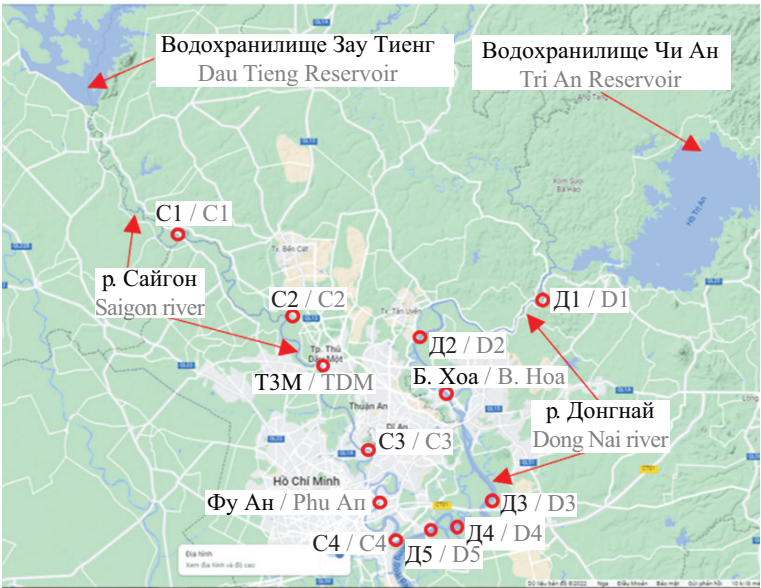


Рис. 10. Расположение дополнительных точек на р. Сайгон – Донгнай

Fig. 10. Location of additional points on the Saigon – Dong Nai river

Табл. 4. Уровень воды на измерительных станциях рассчитан при открытии шлюзов, м

Table 4. The water level at the measuring stations is calculated when the sluices are opened, m

Год Years	C1 C1	C2 C2	T3M TDM	C3 C3	Фу Ан Phu An	C4 C4	Д1 D1	Д2 D2	Б. Хоа B. Hoa	Д3 D3	Д4 D4	Д5 D5
2004	1,55	1,57	1,55	1,53	1,65	1,70	3,96	1,96	1,83	1,74	1,72	1,68
1998	1,71	1,62	1,58	1,57	1,67	1,73	5,99	2,60	1,87	1,78	1,74	1,70
2000	2,29	1,76	1,70	1,67	1,77	1,80	8,97	4,19	2,20	1,88	1,85	1,80
0,1 %	3,48	2,01	1,94	1,86	2,00	2,04	12,51	6,63	3,06	2,13	2,08	2,01

изменение неодинаково на двух реках. На р. Сайгон в расчетных сценариях уровень воды постепенно повышается от станции C1 до станции Тху Зау Мот, затем резко снижается на станции C3 и снова повышается на станциях Фу Ан и C4, но уровень воды повышается незначительно. Это доказывает, что сток из водохранилища Зау Тиенг напрямую влияет только на участок реки от озера до измерительной станции Тху Зау Мот, на оставшийся участок р. Сайгон дополнительно влияет прилив Восточного моря. Между тем изменение уровня воды на измерительных станциях на всем протяжении р. Донгнай от о. Чи Ан до моря подчиняется тому же правилу, согласно которому в каждом сценарии чем

ниже уровень воды снижается, тем ниже по течению снижается уровень воды, ближе измерительные станции к водохранилищу (Д1, Д2, Бьен Хоа), изменение уровня воды по сценариям более выражено, чем на других станциях (Д3–Д5). Тем более уровень воды на Д5 во всех четырех сценариях практически не меняется, хотя объем стока вверх по течению многократно увеличился. Это показывает, что измерительная станция находится под влиянием приливов, даже станции Д3, Д4 подвержены аналогичному воздействию, хотя уровень влияния неясен по сравнению со станцией Д5. Это правило более наглядно видно на графике (рис. 11).

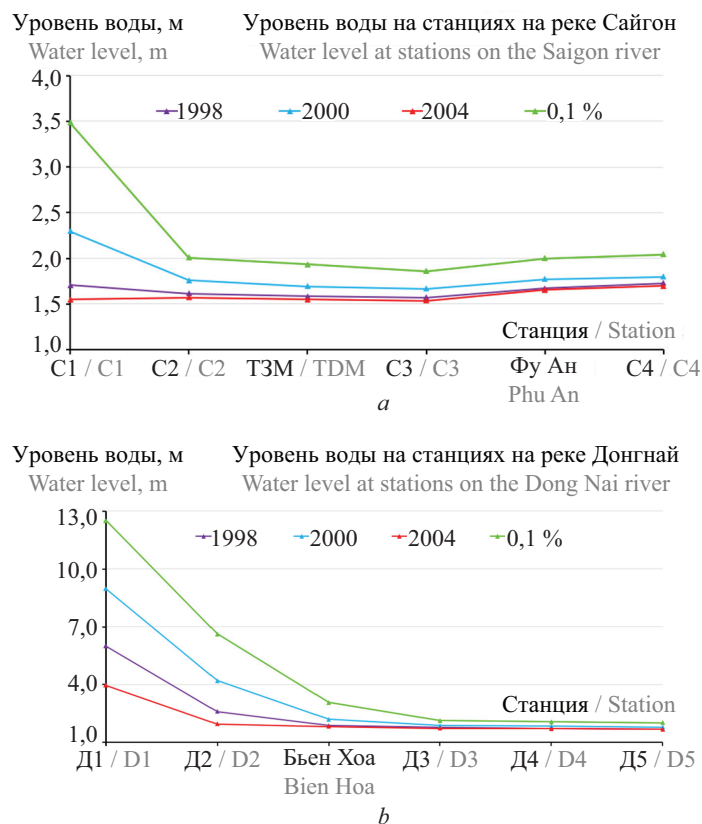


Рис. 11. Максимальный уровень воды на станциях при открытии затворов противопаводковых сооружений
Fig. 11. The maximum water level at the stations when gates of flood control structures are opened

Для оценки влияния противопаводковых сооружений на уровень воды в реках используются результаты расчетов на станциях измерения по модели, представленной в табл. 5.

Из данных табл. 5 установлено, что при закрытии шлюзов противопаводковых сооружений уровень воды на водомерных постах повышается, но повышение уровня воды неравномерно. Амплитуда колебаний уровня воды на станциях Фу Ан и С4 больше, чем на других станциях, хотя расположение станций Д6 и Д7 ближе к противопаводковым сооружениям, чем станции Фу Ан и С4. Кроме того, хотя уровень воды на двух станциях Phu An и С4 имеет больший подъем по амплитуде, чем на остальных станциях, в целом подъем не большой (всего 4–6 см).

Для более конкретной оценки влияния противопаводковых сооружений на уровень воды на р. Сайгон – Донгнай в данной работе используется программа Mike Flood для моделирования наводнения 2000 г. Результатом моделирования является двухмерная карта затопленных территорий, представленная на рис. 12.

Из рис. 12 видно, что площадь затопления при закрытых шлюзах меньше, чем при открытых. В частности, центральная территория, расположенная внутри шести шлюзов, значительно уменьшила площадь затопления. Согласно результатам расчетов по модели, при отсутствии противопаводковых сооружений площадь затопленных участков составляет 1451,48 км², а при проведении этих работ

Табл. 5. Уровень воды на измерительных станциях, рассчитанный при открытии и закрытии шлюзов, м
Table 5. The water level at the measuring stations is calculated at the opening and closing of the locks, m

Год Years	При открытии шлюзов / When the gates open					При закрытии шлюзов / When the gates close				
	Фу Ан Phu An	С4 C4	Д6 D6	Д7 D7	Д8 D8	Фу Ан Phu An	С4 C4	Д6 D6	Д7 D7	Д8 D8
2000	1,77	1,8	1,73	1,64	1,57	1,81	1,84	1,75	1,67	1,59
2004	1,65	1,7	1,61	1,59	1,54	1,7	1,74	1,64	1,61	1,56
1998	1,67	1,73	1,65	1,57	1,46	1,72	1,77	1,68	1,59	1,48
0,1 %	2	2,04	1,91	1,85	1,75	2,06	2,09	1,94	1,88	1,78

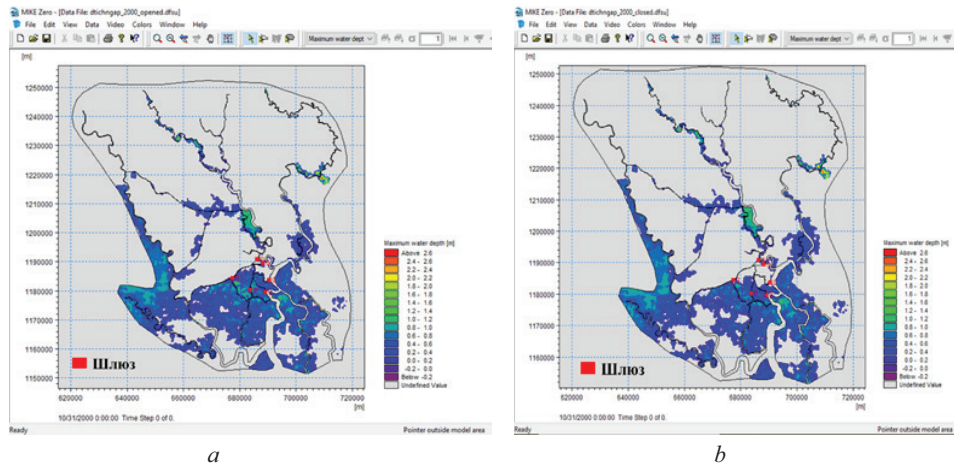


Рис. 12. Максимальный уровень воды в нижнем течении р. Сайгон – Донгнай: *a* — при открытии шлюзов; *b* — при закрытии шлюзов

Fig. 12. The maximum water level in the lower reaches of the SG – DN river: *a* — when opening the gates; *b* — when closing the gates

площадь затопленных участков сокращается всего на 55,14 км², остается только 1396,34 км² (табл. 6). Данные табл. 6 показывают, что при эксплуатации противопаводковых сооружений площадь затопляемых участков будет уменьшаться, а сильнозатопляемых с $H_{\max} > 2$ м увеличиваться. Эти районы в основном сосредоточены вдоль р. Донгнай в районе Винь Куу провинции Донгнай и в г. Тан Юен провинции Бинь Зыонг. Район Ку Чи, мост Бен Сук также имеет большой уровень наводнения ($H_{\max}$ составляет около 2 м). Когда шлюзы будут закрыты, район Тхань Ми Лой, Фу Хуу, Лонг Чыонг и Лонг Фуок в г. Тху Дык, район Там Ан в провинции Донгнай также будут затоплены с максимальным уровнем воды от 0,2 до 1 м.

Табл. 6. Площадь затопляемого участка по $H_{\max}$, км²
Table 6. The area of the flooded area according to $H_{\max}$, km²

$H_{\max}$, м / m	При открытии шлюзов When opening the gates	При закрытии шлюзов When closing the gates
$H_{\max} \leq 1$ м / m	1413,32	1361,66
$1 \text{ м} / \text{м} < H_{\max} \leq 2 \text{ м} / \text{м}$	35,54	31,98
$2 \text{ м} / \text{м} < H_{\max} \leq 3 \text{ м} / \text{м}$	2,48	2,52
$H_{\max} > 3 \text{ м} / \text{м}$	0,15	0,17
Общая площадь / Total area	1451,48	1396,34

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для оценки влияния водохранилищ и противопаводковых сооружений на уровень воды нижнего течения р. Сайгон – Донгнай применялись программы Mike 11, Mike 21 и Mike Flood. Расчетная модель создана, откалибрована и проверена в период с 06.01.2011 г. по 16.06.2011 г. Расчетная модель была настроена, откалибрована и проверена в период с 01.10.2000 г. по 16.10.2000 г. Коэффициенты R^2 и E_f выше 0,80 свидетельствуют о том, что модель и установленные в модели параметры достаточно

надежны для моделирования гидравлического режима в нижнем течении р. Сайгон – Донгнай. Данные о стоке воды в водохранилищах Зау Тиенг и Чи Ан показывают, что сток рек Сайгон – Донгнай меняется каждый год по схеме: годы половодья сменяются годами маловодья. Отсюда было построено 4 сценария расчета для паводкового (2000 г.), маловодного (2004 г.), средневодного (1998 г.) и многоводного года с частотой $P = 0,1$ %. Результаты расчетов свидетельствуют, что: уровень воды на р. Сайгон от верхнего течения до измерительной станции Тху Зау Мот напрямую зависит от водохранилища Зау Тиенг, а о. Чи Ан напрямую

влияет на уровень воды на участке реки за плотиной Три Ан до станции ДЗ (Лонг Фуок – район Там Ан). При закрытии затворов противопаводкового сооружения уровень воды в реке поднимается, но неравномерно. Амплитуда колебаний уровня воды на станциях Фу Ан и С4 наибольшая (от 4–6 см). В связи с историческим наводнением 2000 г. закрытие затворов противопаводковых работ уменьшит затопленную центральную территорию (площадь затопления уменьшится на 55,14 км²), но повысит уровень затопленной воды в районах города Тху Дык и района Там Ан.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Hallegatte S., Green K., Nicholls R.J., Corfee-Morlot J. Future flood losses in major coastal cities // *Nature Climate Change*. 2013. Vol. 3. Issue 9. Pp. 802–806. DOI: 10.1038/nclimate1979
2. Tu T. Combined impact of climate and land use changes on streamflow and water quality in eastern Massachusetts, USA // *Journal of Hydrology*. 2009. Vol. 379. Issue 3–4. Pp. 268–283. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2009.10.009
3. Jongman B., Ward P.J., Aerts J.K. Global exposure to river and coastal flooding: Long term trends and changes // *Global Environmental Change*. 2012. Vol. 22. Issue 4. Pp. 823–835. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2012.07.004
4. Karamuz M., Ahmadvand F., Zahmatkesh Z. Distributed hydrologic modeling of coastal flood inundation and damage: nonstationary approach // *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 2017. Vol. 143. Issue 8. DOI: 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001173
5. Lasage R., Veldkamp T., de Moel H., Van T., Fee H., Vellinga P. *Et al.* Assessment of the effectiveness of flood adaptation strategies for HCMC // *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2014. Vol. 14. Issue 6. Pp. 1441–1457. DOI: 10.5194/nhess-14-1441-2014
6. Adikari Y., Osti R., Noro T. Flood-related disaster vulnerability: an impending crisis of megacities in Asia // *Journal of Flood Risk Management*. 2010. Vol. 3. Issue 3. Pp. 185–191. DOI: 10.1111/j.1753-318x.2010.01068.x
7. Storch H., Downes N.K. A scenario-based approach to assess Ho Chi Minh City's urban development strategies against the impact of climate change // *Cities*. 2011. Vol. 28. Issue 6. Pp. 517–526. DOI: 10.1016/j.cities.2011.07.002
8. Nguyen K.P., Le T.T.A. An applied SWAT model for assessing the impact of climate change // *Journal of Hydraulic Sciences and Technologies*. 2012. No. 12. Pp. 96–101.
9. Do D.D., Nguyen N.A., Doan T.H. Assessment of changes in water resources in the Dong Nai River Basin and its environs // *Science, Technology, Irrigation and Environment*. 2014. No. 47. Pp. 19–26.
10. Nguyen T.A., Nguyen D.L. Application of the SWAT model and GIS technology for runoff estimation in the Dak Bla River Basin // *Scientific Journal of Internal Affairs of the Hanoi National University, Earth and Environmental Sciences*. 2013. No. 29 (3). Pp. 1–13.
11. Le T.H.B., Dang D.N. Non-stationary extreme value analysis for design rainfall estimation in Ho Chi Minh City // *Journal of Science and Technology on Irrigation and the Environment*. 2020. No. 69. URL: <https://www.researchgate.net/publication/351934507>
12. Do D.H. Assessing the impact of urbanization, the construction of waterproofing structures on the already implemented Dong Nai – Sai Gon // *Water Resources Scientific and Technical Journal*. 2018. No. 49. Pp. 1–9.
13. Nguyen P.K., Da D.H., Da H.L., Jin T.T.T. Evaluation of water indicators and changes in the water level of the Saigon River under the influence of Dau Tieng // *Water Resources Scientific and Technical Journal*. 2018. No. 44. Pp. 25–39.
14. Shrestha A., Bhattacharjee L., Baral S., Thakur B., Joshi N., Kalra A. *et al.* Understanding Suitability of MIKE 21 and HEC-RAS for 2D Floodplain Modeling // *World Environmental and Water Resources Congress 2020*. 2020. DOI: 10.1061/9780784482971.024
15. Filipova V., Rana A., Singh P. Urban flooding in Gothenburg — MIKE21 study // *VATTEN — Journal of Water Management and Research*. 2012. No. 68. Pp. 175–184. URL: https://www.tidskriftenvatten.se/wp-content/uploads/2017/04/48_article_4593.pdf
16. Kadam P., Sen D. Flood inundation simulation in Ajoy River using MIKE-FLOOD // *ISH Journal of Hydraulic Engineering*. 2012. Vol. 18. Issue 2. Pp. 129–141. DOI: 10.1080/09715010.2012.695449
17. Vidyapriya V., Ramalingam M. Flood mitigation study in adayar river using mike-flood // *The Journal of Scientific and Engineering Research*. 2016. Vol. 7. Issue 7. Pp. 709–716. URL: <https://www.researchgate.net/publication/331222587>
18. Hosking J.R.M. Regional frequency analysis: an L-moment approach. Cambridge University Press, 1997. Pp. 200–224.
19. Rao A.R., Hamed K.H. Flood frequency analysis. CRC Publications, New York, 2000. URL: <https://scirp.org/reference/referencespapers.aspx?referenceid=1693657>
20. Luong T.A., Nguyen T.S., Dang T.H. Evaluation of the results of calculation of design floods for different frequency lines // *Scientific journal of VNU: Science and technology*. 2015. No. 31. Pp. 1–5.
21. Vo V.T., Nguyen D.T., Le T.H.B., Dang D.N. Analysis of non-stationary extreme values for estimation of the calculated water level of Vung Tau station // *Journal of Irrigation and Environmental Sciences and Technologies*. 2020. No. 71. Pp. 65–70.
22. Moriasi D.N., Arnold J.G., Van Liew M.W., Bingner R.L., Harmel R.D., Veith T.L. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations // *Transactions of the ASABE*. 2007. Vol. 50. Issue 3. Pp. 885–900. DOI: 10.13031/2013.23153

Поступила в редакцию 5 февраля 2023 г.

Принята в доработанном виде 14 июня 2023 г.

Одобрена для публикации 14 июня 2023 г.

ОБ АВТОРАХ: **Ирина Михайловна Маркова** — кандидат технических наук, доцент кафедры гидравлики и гидротехнического строительства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 378281, Scopus: 57205218160, ResearcherID: AAC-6662-2022, ORCID: 0000-0002-7167-7241; markova@mgsu.ru;

Фан Хань Хань — аспирант кафедры гидравлики и гидротехнического строительства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 5282-4194, ResearcherID: HMD-3056-2023, ORCID: 0000-0003-4368-1582; pkhanhkhanh@gmail.com.

Вклад авторов:

Маркова И.М. — научное руководство, концепция исследования, развитие методологии, написание исходного текста, итоговые выводы.

Фан Хань Хань — проведение исследования, написание исходного текста, итоговые выводы.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

- Hallegatte S., Green K., Nicholls R.J., Corfee-Morlot J. Future flood losses in major coastal cities. *Nature Climate Change*. 2013; 3(9):802-806. DOI: 10.1038/nclimate1979
- Tu T. Combined impact of climate and land use changes on streamflow and water quality in eastern Massachusetts, USA. *Journal of Hydrology*. 2009; 379(3-4):268-283. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2009.10.009
- Jongman B., Ward P.J., Aerts J.K. Global exposure to river and coastal flooding: Long term trends and changes. *Global Environmental Change*. 2012; 22(4):823-835. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2012.07.004
- Karamuz M., Ahmadvand F., Zahmatkesh Z. Distributed hydrologic modeling of coastal flood inundation and damage: nonstationary approach. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 2017; 143(8). DOI: 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001173
- Lasage R., Veldkamp T., de Moel H., Van T., Fee H., Vellinga P. et al. Assessment of the effectiveness of flood adaptation strategies for HCMC. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2014; 14(6):1441-1457. DOI: 10.5194/nhess-14-1441-2014
- Adikari Y., Osti R., Noro T. Flood-related disaster vulnerability: an impending crisis of megacities in Asia. *Journal of Flood Risk Management*. 2010; 3(3):185-191. DOI: 10.1111/j.1753-318x.2010.01068.x
- Storch H., Downes N.K. A scenario-based approach to assess Ho Chi Minh City's urban development strategies against the impact of climate change. *Cities*. 2011; 28(6):517-526. DOI: 10.1016/j.cities.2011.07.002
- Nguyen K.P., Le T.T.A. An applied SWAT model for assessing the impact of climate change. *Journal of Hydraulic Sciences and Technologies*. 2012; 12:96-101.
- Do D.D., Nguyen N.A., Doan T.H. Assessment of changes in water resources in the Dong Nai River Basin and its environs. *Science, Technology, Irrigation and Environment*. 2014; 47:19-26.
- Nguyen T.A., Nguyen D.L. Application of the SWAT model and GIS technology for runoff estimation in the Dak Bla River Basin. *Scientific Journal of Internal Affairs of the Hanoi National University, Earth and Environmental Sciences*. 2013; 29(3):1-13.
- Le T.H.B., Dang D.N. Non-stationary extreme value analysis for design rainfall estimation in Ho Chi Minh City. *Journal of Science and Technology on Irrigation and the Environment*. 2020; 69. URL: <https://www.researchgate.net/publication/351934507>
- Do D.H. Assessing the impact of urbanization, the construction of waterproofing structures on the already implemented Dong Nai – Sai Gon. *Water Resources Scientific and Technical Journal*. 2018; 49:1-9.
- Nguyen P.K., Da D.H., Da H.L., Jin T.T.T. Evaluation of water indicators and changes in the water level of the Saigon River under the influence of Dau Tieng. *Water Resources Scientific and Technical Journal*. 2018; 44:25-39.
- Shrestha A., Bhattacharjee L., Baral S., Thakur B., Joshi N., Kalra A. et al. Understanding Suitability of MIKE 21 and HEC-RAS for 2D Floodplain Modeling. *World Environmental and Water Resources Congress 2020*. 2020. DOI: 10.1061/9780784482971.024
- Filipova V., Rana A., Singh P. Urban flooding in Gothenburg – MIKE21 study. *VATTEN — Journal of Water Management and Research*. 2012; 68:175-184. URL: https://www.tidskriftenvatten.se/wp-content/uploads/2017/04/48_article_4593.pdf
- Kadam P., Sen D. Flood inundation simulation in Ajoy River using MIKE-FLOOD. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*. 2012; 18(2):129-141. DOI: 10.1080/09715010.2012.695449
- Vidyapriya V., Ramalingam M. Flood mitigation study in adayar river using mike-flood. *The Journal of Scientific and Engineering Research*. 2016; 7(7):709-716. URL: <https://www.researchgate.net/publication/331222587>
- Hosking J.R.M. *Regional frequency analysis: an L-moment approach*. Cambridge University Press, 1997; 200-224.

19. Rao A.R., Hamed K.H. *Flood frequency analysis*. CRC Publications, New York, 2000. URL: <https://scirp.org/reference/referencespapers.aspx?referenceid=1693657>
20. Luong T.A., Nguyen T.S., Dang T.H. Evaluation of the results of calculation of design floods for different frequency lines. *Scientific journal of VNU: Science and technology*. 2015; 31:1-5.
21. Vo V.T., Nguyen D.T., Le T.H.B., Dang D.N. Analysis of non-stationary extreme values for estimation of the calculated water level of Vung Tau station. *Journal of Irrigation and Environmental Sciences and Technologies*. 2020; 71:65-70.
22. Moriasi D.N., Arnold J.G., Van Liew M.W., Bingner R.L., Harmel R.D., Veith T.L. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *Transactions of the ASABE*. 2007; 50(3):885-900. DOI: 10.13031/2013.23153

Received February 5, 2023.

Adopted in revised form on June 14, 2023.

Approved for publication on June 14, 2023.

B I O N O T E S: **Irina M. Markova** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Hydraulics and Hydraulic Engineering; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 378281, Scopus: 57205218160, ResearcherID: AAC-6662-2022, ORCID: 0000-0002-7167-7241; markova@mgsu.ru;

Phan Khanh Khanh — postgraduate student of the Department of Hydraulics and Hydraulic Engineering; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 5282-4194, ResearcherID: HMD-3056-2023, ORCID: 0000-0003-4368-1582; pkhanhkhanh@gmail.com.

Contribution of the authors:

Irina M. Markova — conceptualization, methodology, development of methodology, scientific editing of the text, final conclusions.

Phan Khanh Khanh — data gathering and processing, writing of the article, final conclusions.

The authors declare no conflict of interest.

Экспериментальный стенд для физического моделирования течений в проточном тракте гидротурбин

Генрих Васильевич Орехов, Михаил Константинович Складнев
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В гидротехническом строительстве широко используются закрученные потоки, в частности в водосбросных системах гидроузлов и гасителях кинетической энергии. Описывается экспериментальная установка для исследования циркуляционных течений бесконтактным лазерным объемным методом. Приводятся принцип метода и основные характеристики регистрирующей аппаратуры. Данная установка позволяет проводить физическое моделирование сложных течений с получением кинематических и динамических характеристик потока.

Материалы и методы. Изучение различных физических явлений требует соблюдения определенных законов моделирования. При моделировании гидродинамических явлений нужно соблюдать геометрическое, кинематическое и динамическое подобия. Одним из наиболее важных понятий любых видов моделирования является критерий подобия. На основании этих критериев создан экспериментальный стенд. Воздушный поток генерируется аэродинамической трубой AeroLab. В качестве измерительной аппаратуры используется PIV-система, состоящая из двух камер Imager HS и лазера NL 200-15. Для закрутки потока применяется модель локального лопаточного монозавихрителя осевого типа. В роли частиц индикаторов для съемки выступает синтетическое масло.

Результаты. Разработаны экспериментальный стенд для модельных исследований вихревых потоков в проточном тракте гидротурбины, оптимальная схема расстановки измерительной аппаратуры и получены эпюры распределения скоростей вдоль и поперек потока.

Выводы. Разработанная схема расстановки аппаратуры позволяет получать качественные снимки потока, пригодные для дальнейшей обработки. Построенные в результате экспериментов эпюры распределения скоростей соответствуют ранее полученным другими исследователями. Созданный экспериментальный стенд сможет использоваться для выполнения широкого ряда задач, например для исследования возможности использования спиральных камер в качестве водосбросов с контрвихревыми гасителями энергии.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: закрученные потоки, модельная установка, лазерные системы, скорость течения, вихревой гаситель, энергия потока, цифровая трассерная визуализация, экспериментальный стенд, гидротурбина

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Орехов Г.В., Складнев М.К. Экспериментальный стенд для физического моделирования течений в проточном тракте гидротурбин // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. Вып. 9. С. 1422–1432. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.9.1422-1432

Автор, ответственный за переписку: Генрих Васильевич Орехов, orehov_genrih@mail.ru.

Experimental stand for physical modelling of flows in the flow path of hydraulic turbines

Genrikh V. Orekhov, Mikhail K. Sklyadnev
Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Swirling flows are widely used in hydraulic engineering particularly in the spillway systems of hydroelectric systems and kinetic energy absorbers. An experimental setup for the study of circulation flows by non-contact laser volumetric method is described. The principle of the method and the main characteristics of the recording equipment are given. This installation allows to carry out physical modelling of complex flows to obtain kinematic and dynamic characteristics of the flow.

Materials and methods. The study of various physical phenomena requires compliance with certain modelling laws. When modelling hydrodynamic phenomena, it is necessary to observe geometric, kinematic and dynamic similarities. One of the most important concepts of any kind of modelling is similarity criteria. Based on these criteria, an experimental stand is designed. The air flow is generated by AeroLab wind tunnel. PIV system consisting of two Imager HS cameras and NL 200-15 laser is used as measuring equipment. To swirl the flow, a local mono-vortex axial type vane swirler is used. Synthetic oil is used as indicator particles for imaging.

Results. An experimental stand for modelling studies of vortex flows in the flow path of a hydraulic turbine, an optimal scheme for the arrangement of measuring equipment was developed and velocity distribution diagrams along and across the flow were obtained.

Conclusions. The developed scheme of instrumentation arrangement allows obtaining high-quality images of the flow suitable for further processing. The velocity distribution diagrams constructed as a result of the experiments correspond to those previously obtained by other researchers. The created experimental stand can be used to fulfill a wide range of tasks, for example, to study the possibility of using spiral chambers as spillways with counter-vortex energy dampers.

KEYWORDS: swirling flows, model installation, laser systems, flow velocity, vortex damper, flow energy, Particle Image Velocimetry, experimental stand, hydraulic turbine

FOR CITATION: Orekhov G.V., Sklyadnev M.K. Experimental stand for physical modelling of flows in the flow path of hydraulic turbines. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2023; 18(9):1422-1432. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.9.1422-1432 (rus.).

Corresponding author: Genrikh V. Orekhov, orehov_genrih@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Закрученные потоки в связи с перспективными возможностями их разнообразного применения играют значительную роль в развитии современной гидродинамики. Сложность в изучении данных течений побуждает использовать современные методы исследования. Все более широкое распространение получают методы бесконтактного измерения, позволяющие собирать информацию о потоке, не влияя на сложные гидродинамические процессы в закрученном течении.

Экономичное конструирование масштабных гидротехнических устройств может быть усовершенствовано благодаря применению математического и физического моделирования. Совершенствование этих методов позволяет существенно снизить затраты времени и средств на создание новых гидротехнических сооружений [1–8].

Закрученные течения образуются в результате придания потоку спирального движения с помощью закручивающих лопаток.

Сегодня очевидно, что, не уделив должного внимания исследованию трехмерной структуры закрученного потока, невозможно оценить эффективность новых конструкторских решений, кроме того, нельзя определить, достигнута ли максимальная эффективность в имеющихся технических решениях [9–15].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Изучая различные физические явления, происходящие в природе и технике, ученые часто используют метод их моделирования в лабораторных условиях. Это требует соблюдения законов моделирования.

При моделировании гидродинамических явлений нужно соблюдать геометрическое, кинематическое и динамическое подобия.

Одним из наиболее важных понятий любых видов моделирования служит критерий подобия. Критерием подобия называется безразмерный степенной комплекс, составленный из величин, характеризующих моделируемый объект. На сегодняшний день основными критериями подобия являются: Fr — число Фруда; Eu — число Эйлера; Sh — число Струхала; Re — число Рейнольдса.

Если движение жидкости турбулентно, то в подобных потоках, помимо указанных чисел подобия, должны быть одинаковыми основные характеристики турбулентного потока: степень турбулентности, масштаб турбулентности и средняя частота пульсаций.

Не всегда при моделировании гидродинамических явлений необходимо соблюдать все условия динамического подобия. Существует много случаев, когда можно следовать лишь одному из перечисленных условий. Например, при моделировании движения воды в трубопроводе достаточно выполнить только одинаковость числа Рейнольдса.

Часто при моделировании не все требуемые условия могут быть выполнены. В таких случаях стоит знать, как велико влияние каждого числа подобия на исследуемое явление, с тем чтобы выяснить, какие условия подобия надо строго соблюдать при моделировании данного явления. В практике, как правило, не все необходимые условия выполняются и, следовательно, явления моделируются лишь приближенно.

Рассмотрим условия подобия, имеющие существенное значение при моделировании гидравлических турбин.

Число Эйлера для гидравлических турбин может быть представлено в виде:

$$Eu = \frac{gHD^4}{Q^2}.$$

На практике гидротурбины моделируют по приведенному расходу Q'_l . Его значение равно корню квадратному из обратного числа Эйлера:

$$\frac{Q_n}{D_n^2 \sqrt{gH_n}} = \frac{Q_m}{D_m^2 \sqrt{gH_m}}$$

или

$$Q'_{lm} = Q'_{ln}.$$

При неустановившихся движениях в условия подобия явлений должно входить равенство чисел Струхала:

$$Sh = \frac{l}{Vt}.$$

За характерное время принимаем период одного оборота колеса:

$$T = \frac{60}{n}.$$

Характерной длиной служит диаметр рабочего колеса D .

Величина скорости потока пропорциональна значению $\sqrt{gH}$.

Следовательно, число Струхала записывается в следующей форме:

$$Sh = \frac{nD}{\sqrt{gH}}.$$

Обычно вместо числа Струхала применяется приведенное число оборотов:

$$n'_l = \frac{nD}{\sqrt{H}}.$$

Если сравниваются модели с одинаковыми диаметрами рабочих колес, то для подобия достаточно, чтобы были одинаковыми число оборотов и расходы, приведенные к одному метру напора:

$$n_l = \frac{n}{\sqrt{H}} \text{ и } Q_l = \frac{Q}{\sqrt{H}}.$$

При одинаковых напорах подобие сохранится, если будут одинаковыми число оборотов и расходы, приведенные к одному метру диаметра рабочего колеса:

$$n' = nD \text{ и } Q' = \frac{Q}{D^2}.$$

Из условия подобия по этим параметрам определяются расход и число оборотов для модели:

$$Q_m = Q_n \frac{D_m^2 \sqrt{H_m}}{D_n^2 \sqrt{H_n}} = Q'_l D_m^2 \sqrt{H_m};$$

$$n_m = n_n \frac{D_n \sqrt{H_m}}{D_m \sqrt{H_n}} = n'_l \frac{\sqrt{H_m}}{D_m}.$$

Таким образом, при моделировании турбин на аэростенде ($D = 460$ мм и $H = 100$ мм вод. ст. и наибольшие значения $Q'_l = 2,6$ м³/с и $n'_l = 200$ об/мин) максимальный расход воздуха достигает 4,5 м³/с, а максимальные обороты колеса — 4340 об/мин. Создание на аэростенде указанных расходов и чисел оборотов не представляет особых затруднений. Следовательно, моделирование гидротурбин можно проводить на аэростендах.

Для проведения эксперимента по исследованию трехмерной структуры потока в учебно-научно-производственной лаборатории аэродинамических и аэроакустических испытаний строительных конструкций (УНПЛ ААИСК) создан экспериментальный стенд (рис. 1, 2). Модель спиральной камеры показана на рис. 3.

Воздушный поток будет генерироваться аэродинамической трубой AeroLab (рис. 4). Данное устройство позволяет регулировать скорость потока и его давление. Скорость формируемого потока в модельной зоне составляет от 0 до 60 м/с. Уровень турбулентности обычно не превышает 0,25 % (в зависимости от лабораторных условий)¹.

Для обеспечения безопасности и недопущения попадания трассерных частиц в окружающую среду стенд имеет замкнутую систему, применяется гибкий воздуховод (см. рис. 1, 2).

В качестве измерительной аппаратуры используется PIV-система, состоящая из двух камер Imager HS (рис. 5) и лазера NL 200-15. Разрешение камеры составляет 2016 × 2016 пикселей, с частотой съемки до 1,3 кГц. При этом пиксель имеет размеры 11 × 11 мкм. Минимальный временной интервал меж-

¹ Educational Wind Tunnel. URL: <https://www.aerolab.com/products/educational-wind-tunnel-ewt/>

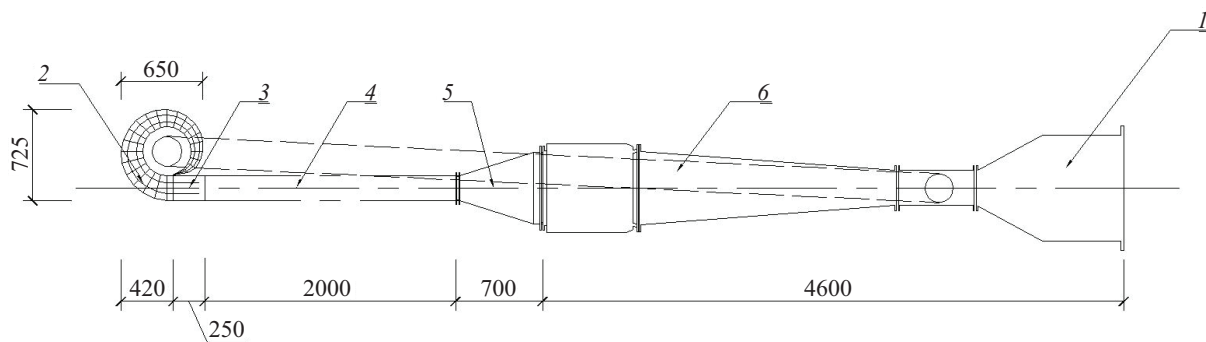


Рис. 1. Экспериментальный стенд в плане: 1 — малая аэродинамическая труба; 2 — модель спиральной камеры; 3 — переходной участок; 4 — труба из оргстекла; 5 — переходной конус; 6 — гибкий воздуховод

Fig. 1. Experimental stand in plan: 1 — small wind tunnel; 2 — model of the spiral chamber; 3 — transition section; 4 — plexiglas pipe; 5 — transitional cone; 6 — flexible duct

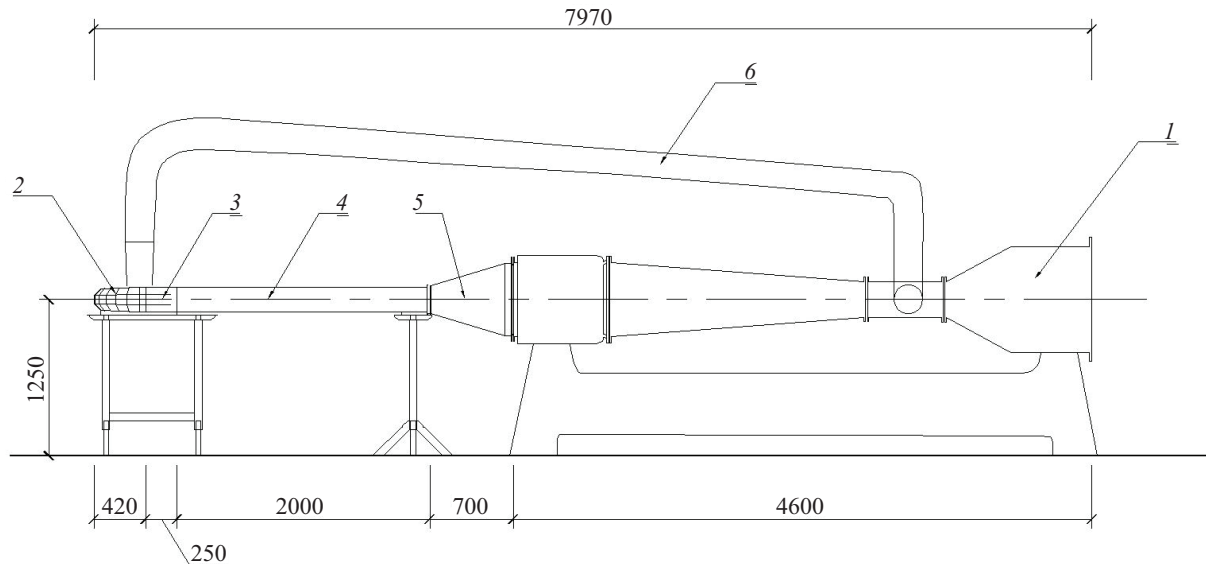


Рис. 2. Экспериментальный стенд, вид сбоку: 1 — малая аэродинамическая труба; 2 — модель спиральной камеры; 3 — переходной участок; 4 — труба из оргстекла; 5 — переходной конус; 6 — гибкий воздуховод

Fig. 2. Side view of the experimental stand: 1 — small wind tunnel; 2 — model of the spiral chamber; 3 — transition section; 4 — plexiglas pipe; 5 — transitional cone; 6 — flexible duct



Рис. 3. Модель спиральной камеры

Fig. 3. Spiral chamber model

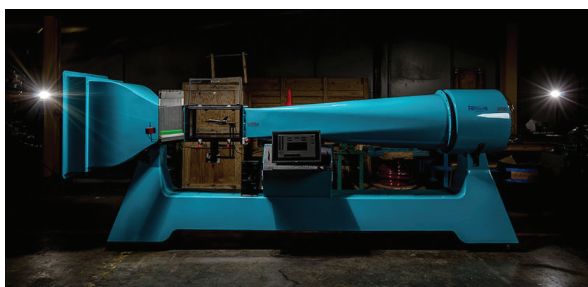


Рис. 4. Аэродинамическая труба AeroLab

Fig. 4. AeroLab wind tunnel

ду кадрами — $3,15 \text{ мкс}^2$. Среди главных характеристик лазера можно отметить: частоту повторения импульсов 0–15 Гц, диаметр лазерного луча, равный 6,5 мм, а также длительность светового импульса от 6 до 9 нс.

В роли частиц индикаторов для съемки применяется синтетическое масло, распыленное путем

² Cameras for PIV. URL: <https://www.lavision.de/en/products/cameras/cameras-for-piv/index.php>



Рис. 5. Светочувствительная камера Imager HS

Fig. 5. Imager HS light-sensitive camera

специального устройства — генератора тумана. Устройство при помощи специальных насадок распыляет жидкость на частицы, размеры которых приблизительно равны 1000 нм.

Механическая система (рис. 6) перемещает камеры и лазер по двум осям X и Z . Электрические приводы позволяют регулировать скорость перемещения от 0 до 18 см/мин при точности 0,1 мм. Перемещение по оси X составляет 2,6 м, по Z — 1,0 м. Каждый подвижный элемент данной системы оснащен датчиками местоположения.

Для закрутки потока используется модель локального лопаточного монозавихрителя осевого типа (рис. 7).

Локальный завихритель предназначен для формирования циркуляционно-продольного течения в расположенном ниже канале. Он включает не только узел закрутки потока, но и часть после-



Рис. 6. Механическая система перемещения

Fig. 6. Mechanical movement system

дующего цилиндрического канала небольшой протяженности до «критического сечения».

Для получения характеристик потока применяется метод трассерной визуализации потока (PIV). Коротко этот принцип можно описать следующим образом. Для того чтобы провести измерение мгно-



Рис. 7. Локальный лопаточный монозавихритель осевого типа

Fig. 7. Local mono-vortex axial type vane swirler

венного поля скорости, необходимо отследить перемещения частиц индикаторов (трассеров) между вспышками подсвечивающего их лазера. Размер, плотность и объемная концентрация трассеров подбираются так, чтобы минимизировать влияние на поток его двухфазности, т.е. приблизить экспериментальный поток к его естественному состоянию несмотря на наличие в нем, как правило, твердых частиц индикаторов.

Стоит отметить, что время между вспышками лазерных импульсов задается испытателем, следовательно, время, за которое осуществляется перемещение индикатора от момента первой вспышки до следующей, — известная величина. Перемещение определяется исходя из результатов съемки. Если съемка ведется одной камерой, получаем

лишь проекцию перемещения на плоскость лазерного ножа. Для представления о действительном перемещении частиц необходимо использовать два регистрирующих модуля (камеры). Метод с использованием нескольких камер называется Stereo PIV.

В результате съемки уже имеется представление о перемещении частиц, что позволяет вычислить поля скоростей для исследуемого потока.

Основные преимущества метода — бесконтактность, возможность измерения мгновенных распределений скорости, широкий диапазон измеряемых скоростей (от нуля до сверхзвуковых).

Для измерения характеристик потока на экспериментальном стенде применен метод Stereo PIV. Расстановка камер в этом методе не позволяет получить действительное изображение расчетной области, оно получается искаженным. Это приводит к изменению масштабного коэффициента. Чтобы избежать такого эффекта, производится калибровка камер.

Наиболее распространены трансляционная (рис. 8, а) и угловая (рис. 8, б) конфигурации метода PIV.

Минусом трансляционной конфигурации является узкий диапазон стереоскопических углов ($0-30^\circ$). Это связано с тем, что при больших углах появляются перспективные искажения. У углового конфигурационного метода диапазон стереоскопических углов более широкий (до $45-60^\circ$ между оптической осью камеры и нормалью к плоскости измерения). Таким образом, с помощью углового конфигурационного метода можно более точно измерить нормальные компоненты скоростей. Калибровка камер осуществляется посредством калибровочной пластинки. Она представляет собой прямоугольную сетку координат, в узлах которой расположены маркеры (рис. 9) [16–18].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Провели две серии опытов. В первой серии камеры и лазер располагались сбоку от трубы. Для того чтобы лазерный нож был перпендикулярен оптической оси камер, использовалось устройство позиционирования лазерного ножа — приспособление, которое с помощью системы зеркал может изменять направление попадающего в него пучка света. Схема данной серии опытов представлена на рис. 10.

Во второй серии экспериментов изменена схема расстановки аппаратуры. Лазерный нож запущен через свободный конец трубы. Это сделано для того, чтобы убрать блики. Так же были установлены две матовые полоски в плоскости лазерного ножа. Схема эксперимента представлена на рис. 11.

Положение лазера сбоку от трубы оказалось неудачным. Лазерный луч, проходя сквозь поверхность трубы из оргстекла, сильно рассеивался и создавал блики на ее поверхности. Это хорошо заметно на фотографиях, снятых камерой (рис. 12).

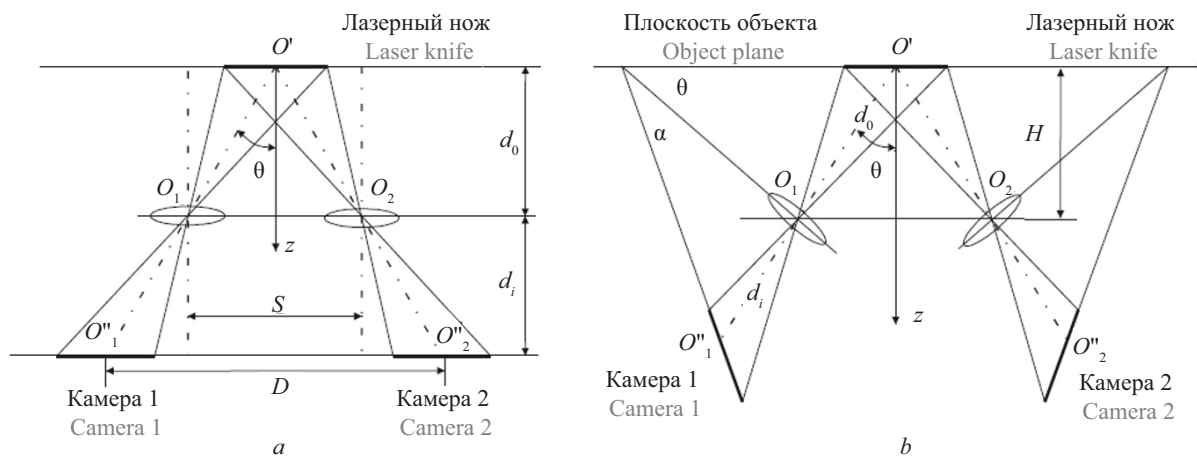


Рис. 8. Конфигурации стереоскопических измерений: *a* — трансляционная конфигурация; *b* — угловая конфигурация
Fig. 8. Stereo measurement configurations: *a* — translational configuration; *b* — corner configuration

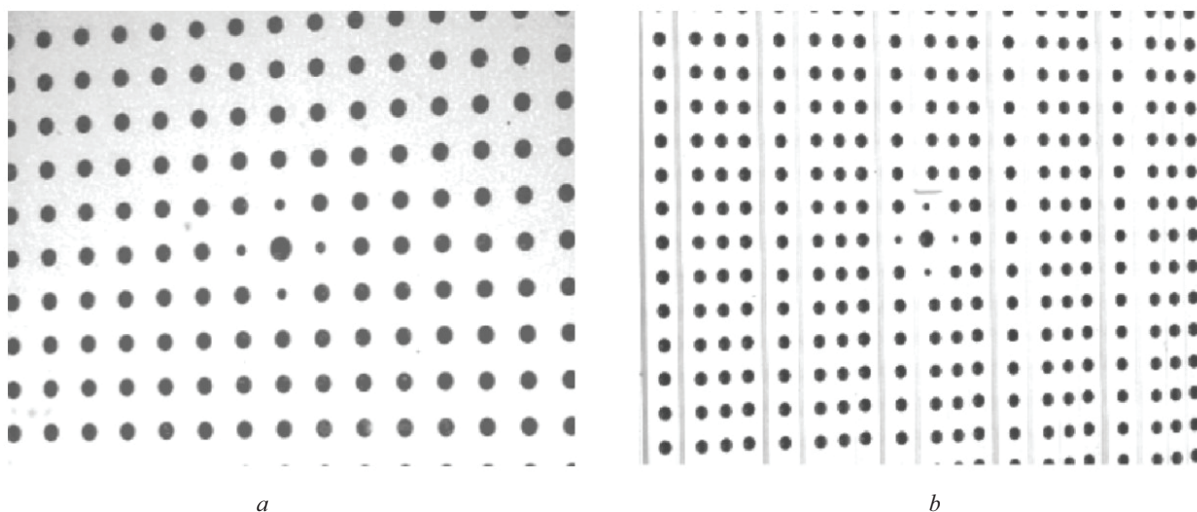


Рис. 9. Пример изображения плоской (*a*) и 3-уровневой калибровочной мишени (*b*)
Fig. 9. Example image of a flat calibration target (*a*) and a three-level calibration target (*b*)

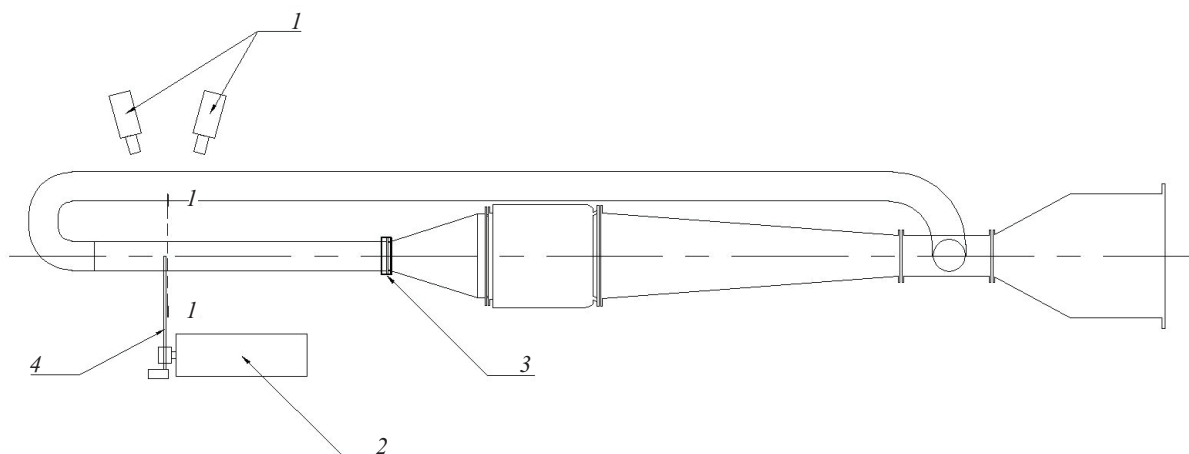


Рис. 10. Схема испытаний с лазером, вид сбоку: 1 — светочувствительные камеры; 2 — лазер; 3 — локальный завихритель; 4 — устройство для позиционирования лазерного ножа
Fig. 10. Test scheme with laser, side view: 1 — light-sensitive cameras; 2 — laser; 3 — local swirler; 4 — laser knife positioning device

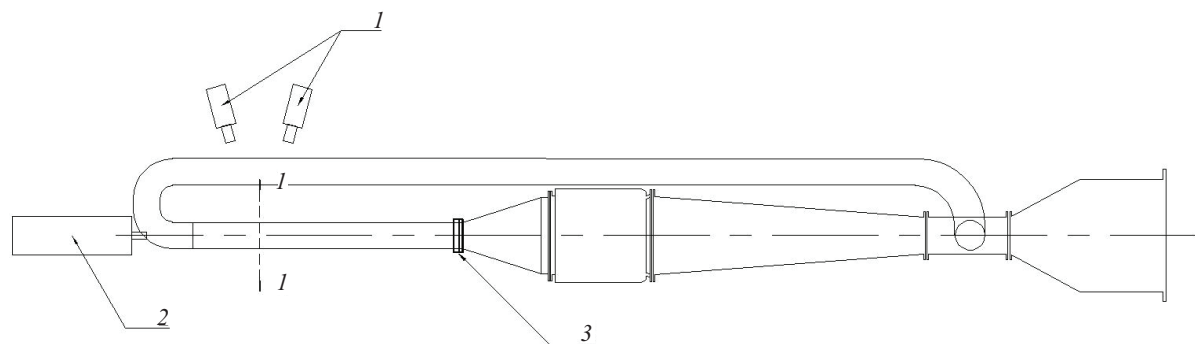


Рис. 11. Схема испытаний с лазером, расположенным перед трубой: 1 — светочувствительные камеры; 2 — лазер; 3 — локальный завихритель

Fig. 11. Test scheme with laser located in front of the pipe: 1 — light-sensitive cameras; 2 — laser; 3 — local swirler

При таком качестве снимков программе трудно корректно их обработать. Поля векторов скоростей получаются прерывистыми, с пятнами, в которых значения скоростей неизвестны. По этим результатам невозможно составить достоверную картину распределения скоростей по сечению.

В следующем эксперименте установили матовую черную полосу на противоположной входению лазерного ножа стенке трубы. Данное решение помогло убрать большую часть бликов, но обрабатывать изображение еще достаточно сложно (рис. 13).

Фотографии, снятые при положении лазера спереди трубы, представлены на рис. 14. Эта схема расстановки аппаратуры дает очень хороший результат. На фотографиях почти нет засвеченных

областей, а те, которые есть, являются следствием плохого (в оптическом плане) качества трубы.

После обработки фотографий (рис. 14) получены эпюры распределения скоростей вдоль и поперек потока (рис. 15).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных опытов установлено, что в положении, когда лазерный нож проходит через округлую оболочку трубы, он сильно рассеивается и фотографии потока получаются непригодными для дальнейшей обработки из-за большого количества засвеченных областей.

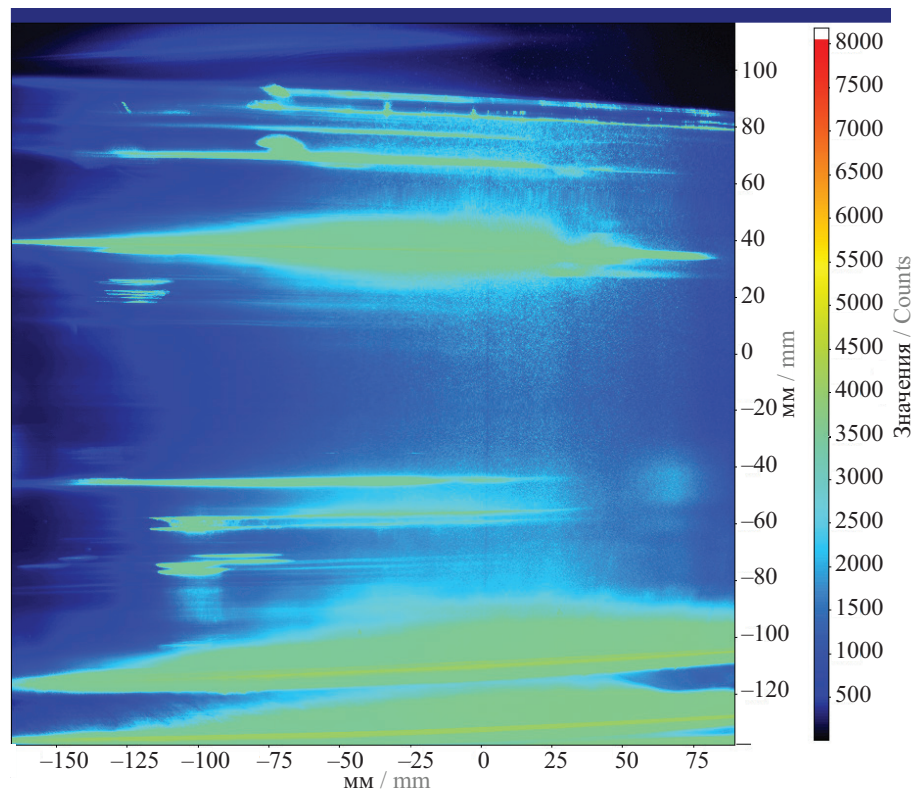


Рис. 12. Фотографии при положении лазера сбоку от трубы

Fig. 12. Photos with laser positioned to the side of the pipe

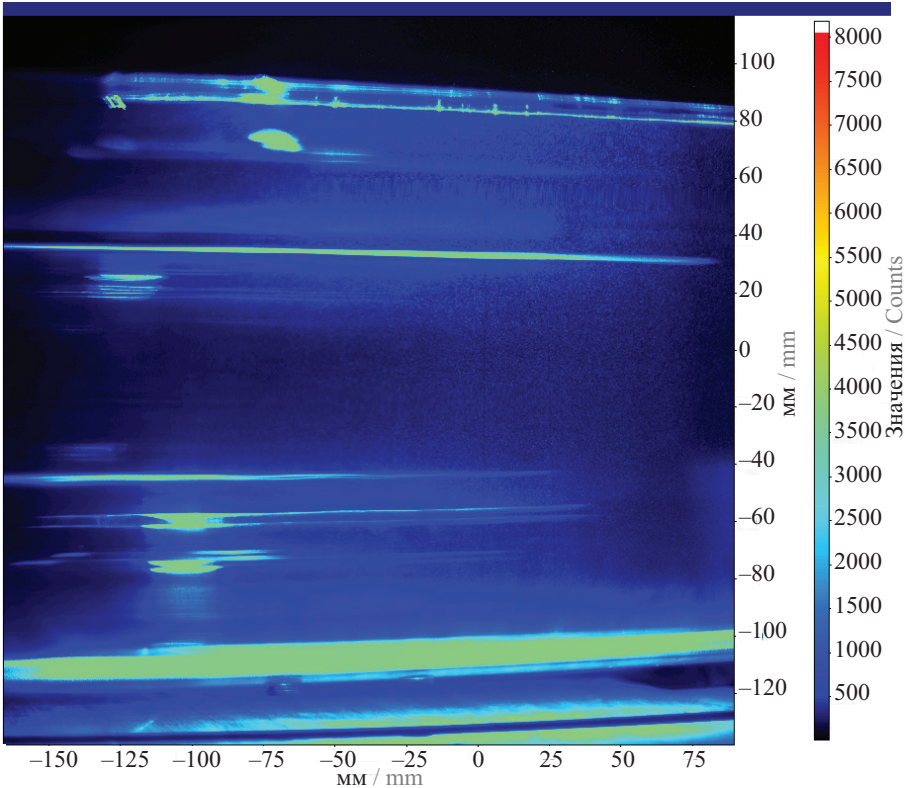


Рис. 13. Фото с установленной матовой полоской
Fig. 13. Photo with matte strip installed

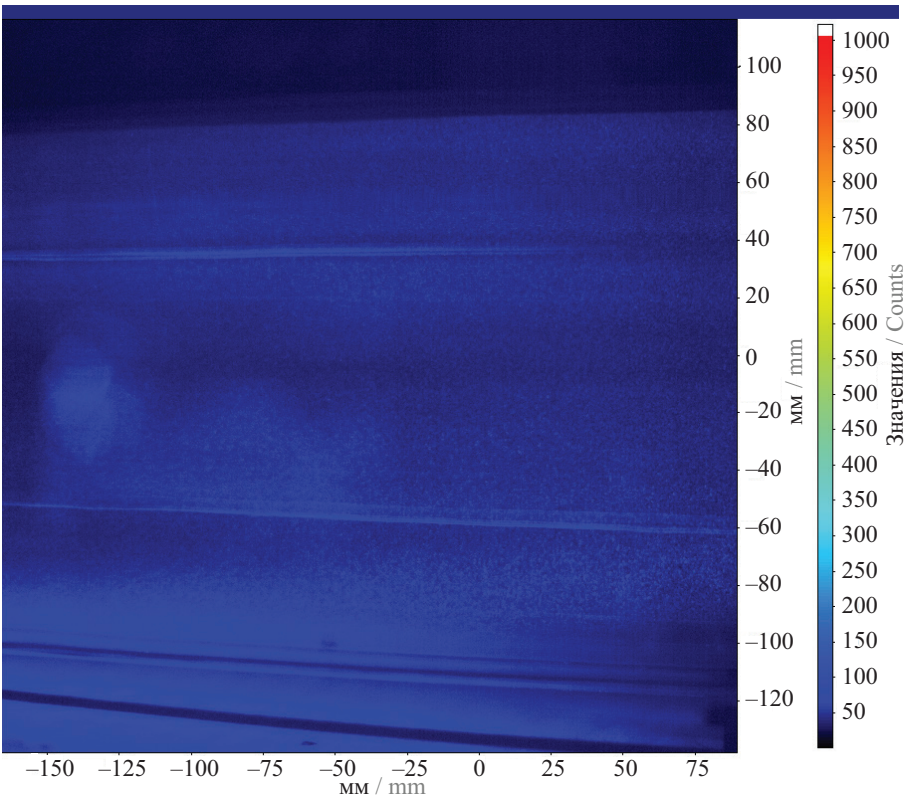


Рис. 14. Фотографии при положении лазера спереди трубы и установленных матовых полосках
Fig. 14. Photographs with laser positioned at the front of the pipe and matte strips installed

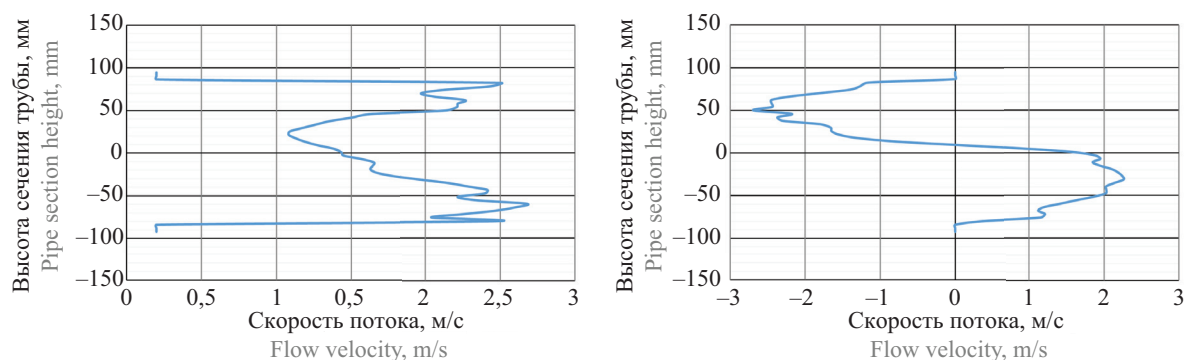


Рис. 15. Эпюры скоростей: *a* — вдоль потока; *b* — поперек потока

Fig. 15. Velocity diagrams: *a* — along the flow; *b* — across the flow

Построенные в ходе экспериментов эпюры распределения скоростей соответствуют ранее полученным другими исследователями. Это свидетельствует об их правильности, а следовательно, и о корректной работе как стенда, так и всей используемой аппаратуры.

Экспериментальный стенд позволит провести физический эксперимент, в результате которого будут получены характеристики потока в проточном

тракте гидротурбины. Основное преимущество установки — возможность бесконтактного измерения. На стенде могут быть изучены различные типы течений. Установка позволит получить новые сведения о закрученном потоке в проточном тракте, что является еще одним шагом вперед в области разработки и конструирования подобного рода гидроустройств.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Adrian R.J.* Particle-imaging techniques for experimental fluid mechanics // *Annual Review of Fluid Mechanics*. 1991. Vol. 23. Issue 1. Pp. 261–304. DOI: 10.1146/annurev.fl.23.010191.001401
2. *Yang Y., Zhu H.* Fluid-solid drag models selection for simulating wheat straw particle movement in anaerobic digester // *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2023. Vol. 16. Issue 2. Pp. 249–258. DOI: 10.25165/j.ijabe.20231602.8003
3. *Zhang H.Y., Wen S., Chen C.L., Liu Q., Xu T.Y., Chen S.D.* Downwash airflow field distribution characteristics and their effect on the spray field distribution of the DJI T30 six-rotor plant protection UAV // *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2023. Vol. 16. Issue 2. Pp. 10–22. DOI: 10.25165/j.ijabe.20231602.8094
4. *Zhan Y., Chen P., Xu W., Chen S., Han Y., Lan Y. et al.* Influence of the downwash airflow distribution characteristics of a plant protection UAV on spray deposit distribution // *Biosystems Engineering*. 2022. Vol. 216. Pp. 32–45. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2022.01.016
5. *Das T., Usher S.P., Batstone D.J., Rees C.A., Stickland A.D., Eshtiaghi N.* Shear and solid-liquid separation behaviour of anaerobic digested sludge across a broad range of solids concentrations // *Water Research*. 2022. Vol. 222. P. 118903. DOI: 10.1016/j.watres.2022.118903
6. *Neuner T., Meister M., Pillei M., Koch M., Rauch W.* Numerical and experimental flow investigation using ultrasonic PIV for optimizing mechanically

agitated lab-scale anaerobic digesters // *Chemical Engineering Science*. 2022. Vol. 264. P. 118129. DOI: 10.1016/j.ces.2022.118129

7. *Li L., Wang K., Wei L., Zhao Q., Zhou H., Jiang J.* CFD simulation and performance evaluation of gas mixing during high solids anaerobic digestion of food waste // *Biochemical Engineering Journal*. 2022. Vol. 178. P. 108279. DOI: 10.1016/j.bej.2021.108279

8. *Sheikh A.H., Savari C., Barigou M.* A data-driven stochastic model for velocity field and phase distribution in stirred particle-liquid suspensions // *Powder Technology*. 2022. Vol. 411. P. 117940. DOI: 10.1016/j.powtec.2022.117940

9. *Litvinov I., Shtork S., Gorelikov E., Mitryakov A., Hanjalic K.* Unsteady regimes and pressure pulsations in draft tube of a model hydro turbine in a range of off-design conditions // *Experimental Thermal and Fluid Science*. 2018. Vol. 91. Pp. 410–422. DOI: 10.1016/j.expthermflusci.2017.10.030

10. *Mikhailov I.E.* Graphical-and-analytical method for designing reinforced-concrete scroll casings of water turbines based on laws of variation in cross-section average tangential velocities // *Power Technology and Engineering*. 2018. Vol. 52. Issue 3. Pp. 303–307. DOI: 10.1007/s10749-018-0949-6

11. *Mikhailov I.E.* An analytic method of calculating the spirals of the turbine pits of hydraulic turbines based on different laws of variation of the average circumferential velocity in cross-sections along the length of the spiral // *Power Technology and Engineering*.

2019. Vol. 52. Issue 5. Pp. 541–547. DOI: 10.1007/s10749-019-00988-z

12. Zuikov A.L. Formation of spray cone of free jet during ejection of convoluted flow to the atmosphere // *Power Technology and Engineering*. 2012. Vol. 45. Issue 6. Pp. 435–440. DOI: 10.1007/s10749-012-0290-4

13. Orekhov G. Hydraulic spillways using the effect of interacting circulation currents // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 365. P. 042023. DOI: 10.1088/1757-899X/365/4/042023

14. Waldrop M.T. Experimental characterization and modeling of gaseous cavitation of dodecane in a converging-diverging nozzle. Indiana, 2020. 495 p. DOI: 10.7274/8049g448f1q

15. Shapiro E. Optimization of flow through a two-way solenoid valve: a thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of master of science in the field of mechanical engineering. Gradu-

ate School Southern Illinois University Edwardsville, 2015. 57 p.

16. Ахметбеков Е.К., Бильский А.В., Ложкин Ю.А., Маркович Д.М., Токарев М.П., Тюрюшкин А.Н. Система управления экспериментом и обработки данных, полученных методами цифровой трассерной визуализации (ActualFlow) // *Вычислительные методы и программирование*. 2006. Т. 7. № 3. С. 79–85. EDN IBLLAX.

17. Токарев М.П., Маркович Д.М., Бильский А.В. Адаптивные алгоритмы обработки изображений частиц для расчета мгновенных полей скорости // *Вычислительные технологии*. 2007. Т. 12. № 3. С. 109–131.

18. Маркович Д.М., Токарев М.П. Алгоритмы реконструкции трехкомпонентного поля скорости в методе Stereo PIV // *Вычислительные методы и программирование*. 2008. Т. 9. № 3. С. 311–326. EDN JUBEZF.

Поступила в редакцию 12 мая 2023 г.

Принята в доработанном виде 19 июня 2023 г.

Одобрена для публикации 19 июня 2023 г.

ОБ АВТОРАХ: **Генрих Васильевич Орехов** — доктор технических наук, доцент, профессор кафедры гидравлики и гидротехнического строительства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; ORCID: 0000-0002-6900-2704; orehov_genrih@mail.ru;

Михаил Константинович Складнев — аспирант кафедры гидравлики и гидротехнического строительства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 4021-4471, ORCID: 0000-0003-4188-268X; m.kons20@mail.ru.

Вклад авторов:

Орехов Г.В. — идея, научное руководство, концепция исследования, научное редактирование текста, доработка текста.

Складнев М.К. — сбор материала, обработка материала, написание исходного текста, итоговые выводы.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Adrian R.J. Particle-imaging techniques for experimental fluid mechanics. *Annual Review of Fluid Mechanics*. 1991; 23(1):261-304. DOI: 10.1146/annurev.fl.23.010191.001401

2. Yang Y., Zhu H. Fluid-solid drag models selection for simulating wheat straw particle movement in anaerobic digester. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2023; 16(2):249-258. DOI: 10.25165/j.ijabe.20231602.8003

3. Zhang H.Y., Wen S., Chen C.L., Liu Q., Xu T.Y., Chen S.D. Downwash airflow field distribution characteristics and their effect on the spray field distribution of the DJI T30 six-rotor plant protection UAV. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2023; 16(2):10-22. DOI: 10.25165/j.ijabe.20231602.8094

4. Zhan Y., Chen P., Xu W., Chen S., Han Y., Lan Y. et al. Influence of the downwash airflow distribution characteristics of a plant protection UAV on spray deposit distribution. *Biosystems Engineering*. 2022; 216:32-45. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2022.01.016

5. Das T., Usher S.P., Batstone D.J., Rees C.A., Stickland A.D., Eshtiaghi N. Shear and solid-liquid separation behaviour of anaerobic digested sludge across a broad range of solids concentrations. *Water Research*. 2022; 222:118903. DOI: 10.1016/j.watres.2022.118903

6. Neuner T., Meister M., Pillei M., Koch M., Rauch W. Numerical and experimental flow investigation using ultrasonic PIV for optimizing mechanically agitated lab-scale anaerobic digesters. *Chemical Engineering Science*. 2022; 264:118129. DOI: 10.1016/j.ces.2022.118129

7. Li L., Wang K., Wei L., Zhao Q., Zhou H., Jiang J. CFD simulation and performance evaluation of gas mixing during high solids anaerobic digestion of food waste. *Biochemical Engineering Journal*. 2022; 178:108279. DOI: 10.1016/j.bej.2021.108279
8. Sheikh A.H., Savari C., Barigou M. A data-driven stochastic model for velocity field and phase distribution in stirred particle-liquid suspensions. *Powder Technology*. 2022; 411:117940. DOI: 10.1016/j.powtec.2022.117940
9. Litvinov I., Shtork S., Gorelikov E., Mitryakov A., Hanjalic K. Unsteady regimes and pressure pulsations in draft tube of a model hydro turbine in a range of off-design conditions. *Experimental Thermal and Fluid Science*. 2018; 91:410-422. DOI: 10.1016/j.expthermflusc.2017.10.030
10. Mikhailov I.E. Graphical-and-analytical method for designing reinforced-concrete scroll casings of water turbines based on laws of variation in cross-section average tangential velocities. *Power Technology and Engineering*. 2018; 52(3):303-307. DOI: 10.1007/s10749-018-0949-6
11. Mikhailov I.E. An analytic method of calculating the spirals of the turbine pits of hydraulic turbines based on different laws of variation of the average circumferential velocity in cross-sections along the length of the spiral. *Power Technology and Engineering*. 2019; 52(5):541-547. DOI: 10.1007/s10749-019-00988-z
12. Zuikov A.L. Formation of spray cone of free jet during ejection of convoluted flow to the atmosphere. *Power Technology and Engineering*. 2012; 45(6): 435-440. DOI: 10.1007/s10749-012-0290-4
13. Orekhov G. Hydraulic spillways using the effect of interacting circulation currents. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018; 365:042023. DOI: 10.1088/1757-899X/365/4/042023
14. Waldrop M.T. *Experimental characterization and modeling of gaseous cavitation of dodecane in a converging-diverging nozzle*. Indiana, 2020; 495. DOI: 10.7274/8049g448f1q
15. Shapiro E. *Optimization of flow through a two-way solenoid valve: a thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of master of science in the field of mechanical engineering*. Graduate School Southern Illinois University Edwardsville, 2015; 57.
16. Akhmetbekov E.K., Bilsky A.V., Lozh-kin Yu.A., Markovich D.M., Tokarev M.P., Tyuryushkin A.N. Experiment control and data processing system obtained by digital tracer visualization (ActualFlow). *Numerical Methods and Programming*. 2006; 7(3):79-85. EDN IBLLAX. (rus.).
17. Tokarev M.P., Markovich D.M., Bilsky A.V. Adaptive algorithms for PIV image processing. *Computational Technologies*. 2007; 12(3):109-131. (rus.).
18. Markovich D.M., Tokarev M.P. Three-component velocity field reconstruction algorithms in stereo PIV. *Numerical Methods and Programming*. 2008; 9(3):311-326. EDN JUBEZF. (rus.).

Received May 12, 2023.

Adopted in revised form on June 19, 2023.

Approved for publication on June 19, 2023.

BIONOTES: **Genrikh V. Orekhov** — Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Hydraulics and Hydraulic Engineering; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-6900-2704; orehov_genrih@mail.ru;

Mikhail K. Sklyadnev — postgraduate student of the Department of Hydraulics and Hydraulic Engineering; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 4021-4471, ORCID: 0000-0003-4188-268X; m.kons20@mail.ru.

Contribution of the authors:

Genrikh V. Orekhov — idea, scientific leadership, research concept, scientific text editing, text revision.

Mikhail K. Sklyadnev — collection of material, processing of material, writing the original text, final conclusions.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Поддержание требуемых параметров микроклимата
неотапливаемых частей зданий за счет организации
переточного воздушного отопления

Самвел Володяевич Саргсян, Валерий Юрьевич Кравчук

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Переточное воздушное отопление — редко применяемая, но обладающая существенным экономическим эффектом технология, исследования которой уделяется недостаточно внимания. Предметом исследования являются параметры тепловлажностного состояния воздуха, перетекающего в обслуживаемые помещения. Цель исследования — разработать алгоритм, описывающий изменение состояния воздуха при организации переточного воздушного отопления. Задачи исследования: разработать модель изменения состояния воздуха при организации переточного воздушного отопления; применить разработанную модель и разработать рекомендации по организации переточного воздушного отопления для здания склада.

Материалы и методы. Методика исследования построена на традиционных законах и уравнениях тепломассообмена, аэродинамики и механики сплошной среды; применении диаграммы состояния влажного воздуха и правилах выполнения построений тепловлажностной обработки воздуха; принципах работы и конструирования вентиляционного оборудования; санитарно-гигиенических основах проектирования вентиляции. Выбор климатических данных, свойств материалов и сред, а также разработка проектных решений проведены в соответствии с актуальной нормативной документацией.

Результаты. Разработан алгоритм, включающий методы и модели и описывающий изменение состояния воздуха при организации переточного воздушного отопления. Создана модель остывания воздуха в неотапливаемом помещении, использующая осредненные характеристики. Выполнена апробация модели на примере здания склада с неотапливаемой частью, в которой подтверждена возможность поддержания требуемых параметров микроклимата за счет работы переточного воздушного отопления. Дополнительно разработаны рекомендации по организации оптимального воздухораспределения и подбору оборудования. Предложен алгоритм, применение которого позволяет выявить пригодность переточного воздушного отопления в промышленных зданиях и рассчитать параметры воздуха.

Выводы. Применение переточного воздушного отопления, рассчитанного по предложенному алгоритму, даст возможность повысить энергетическую эффективность (путем экономии энергоресурсов и снижения капитальных затрат на систему отопления) решений в области вентиляции промышленных зданий. Использование алгоритма подразумевает, что организация переточного воздушного отопления не нарушает технологический процесс и требования к пожарной и санитарно-гигиенической безопасности здания.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: воздушное отопление, промышленная вентиляция, энергосбережение, микроклимат, воздухообмен, переток

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Саргсян С.В., Кравчук В.Ю. Поддержание требуемых параметров микроклимата неотапливаемых частей зданий за счет организации переточного воздушного отопления // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. Вып. 9. С. 1433–1443. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.9.1433-1443

Автор, ответственный за переписку: Валерий Юрьевич Кравчук, valerik_kravchuk@mail.ru.

Maintenance of microclimate parameters in unheated parts
of buildings by overflow air heating

Samvel V. Sarsyan, Valeriy Yu. Kravchuk

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Overflow air heating is a rarely used, but possessing a significant economic effect technology, the research of which is given insufficient attention. The subject of the research is the parameters of the thermal and humidity state of the air. The purpose of the research is to develop an algorithm describing the change of air state during the work of overflow air heating. Research objectives: to develop a model of air state change for overflow air heating; to apply the developed model and to formulate the recommendations on the organization of the overflow air heating for the warehouse building.

Materials and methods. The research methodology is based on the traditional laws and equations of heat and mass transfer, aerodynamics and continuum mechanics; application of $I-d$ diagram and the rules of construction of heat and humidity air treatment; principles of operation and design of ventilation equipment; sanitary and hygienic bases of ventilation design. Selection of climatic data, properties of materials, as well as the development of design solutions were carried out in accordance with the current regulatory documentation.

Results. An algorithm including methods and models and describing the change in the state of the air for overflow air heating was developed. A model of air cooling in an unheated room was developed. It was tested on the example of a warehouse building with an unheated part. It confirmed the relevance of the developed model. Additionally, recommendations on the organization of optimal air distribution and selection of equipment were designed.

Conclusions. The application of overflow air heating, calculated according to the proposed algorithm, will make it possible to increase the energy efficiency solutions in the field of ventilation of industrial buildings. The use of the algorithm implies that the organization of overflow air heating does not violate the technological process and requirements for fire and sanitary-hygienic safety of the building.

KEYWORDS: air heating, industrial ventilation, energy saving, microclimate, air exchange, overflow

FOR CITATION: Sarsyan S.V., Kravchuk V.Yu. Maintenance of microclimate parameters in unheated parts of buildings by overflow air heating. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2023; 18(9):1433-1443. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.9.1433-1443 (rus.).

Corresponding author: Valeriy Yu. Kravchuk, valerik_kravchuk@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Поддержание параметров микроклимата в неотапливаемых частях зданий — нетривиальная задача. Обычно при необходимости соблюдения требований к параметрам воздуха проектировщики предусматривают систему отопления (для поддержания температуры) и системы вентиляции или кондиционирования воздуха (для поддержания температуры, влажности и подвижности воздуха). В ряде случаев можно провести расчетное обоснование возможности поддержания требуемых параметров внутренней среды за счет организации перетока из отапливаемых частей здания в неотапливаемые, обычно это решение имеет существенный экономический эффект. На данный момент в литературе не описаны методы, позволяющие достаточно точно выполнять такой анализ, в данной статье ставится цель устранить эту неопределенность. Технология воздушного отопления широко применяется в промышленных и гражданских зданиях. За рубежом (например, в Канаде) воздушное отопление активно используют для отопления частных жилых домов [1]. В целом область применения воздушного отопления являются помещения большого объема, так как в них необходимо отапливать весь объем, а не только области, расположенные вблизи наружных стен; также такие системы обладают малой инерционностью, что может быть важно для принятия проектных решений. Сфера применения и главные сложности, возникающие при проектировании воздушного отопления, рассмотрены в работах [2, 3]. Ключевые вопросы, решаемые исследователями, это поиск оптимальных способов воздухораспределения [4–6], подбор и компоновка оборудования [7–9], а также некоторые вопросы, касающиеся энергоэффективности таких систем [10–15]. Воздушное отопление в производственных зданиях различного назначения проанализировано в трудах [16–20], однако расчетам и проектированию переточного воздушного отопления внимание до сих пор не уделялось.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование строится на нескольких базовых методах. Важнейшим из них является применение $I-d$ диаграммы влажного воздуха. Использование только формул теплового баланса в данном случае недостаточно, так как по условиям задачи нормируется не только температура воздуха, но и его относительная влажность. Также при охлаждении в неотапливаемой части из воздуха может удаляться не только явная, но и скрытая теплота, что также обуславливает применение графического метода. Обработка воздуха напрямую связана с тепловым балансом неотапливаемой части склада, поэтому для решения задач исследования составляется и решается уравнение баланса энтальпии влажного воздуха. Тепловой баланс, в свою очередь, основан на ряде параметров, характеризующих теплозащитную оболочку здания. Параметры оболочки принимаются по данным проекта, а все вычисления выполняются в соответствии с рекомендациями, приведенными в нормативных документах.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Разработку предлагаемой методики рассмотрим на примере здания склада, содержащего отапливаемую и неотапливаемую части, разделенные внутренней перегородкой (рис. 1). Параметры наружного климата примем следующими: температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 $t_s^{0,92} = -20$ °С, средняя месячная относительная влажность воздуха наиболее холодного месяца $\phi_n = 85$ %. Для продукции, хранящейся в отапливаемой части, необходимо поддерживать температуру 15–25 °С, относительную влажность 50–65 %; в неотапливаемой части — температуру –20–40 °С, относительную влажность 30–75 %. Система отопления подобрана исходя из поддержания температуры воздуха, равной +15 °С. Полные тепловыделения от людей, оборудования и освещения составляют 8814 Вт. Влаговыделения от людей — 1035 г/ч.

В отапливаемой части склада организуются однократная приточная вентиляция в объеме $L = 24\,670\text{ м}^3/\text{ч}$. Вытяжка устраивается из верхней зоны неотапливаемой части склада, а между частями воздух перетекает с использованием двух вентиляторов и воздуховодов равномерной раздачи, расположенных вдоль наружных ограждений. Устройство вентиляторов необходимо, так как при организации свободного перетока через проемы из-за неплотностей в ограждающих конструкциях часть воздуха будет «выдавливаться» из отапливаемой части на улицу, а в неотапливаемой части наоборот будет возникать инфильтрация, что снизит энергетическую эффективность решения. Ввиду того, что температура, с которой воздух будет подаваться в неотапливаемую часть, невысока (это показано далее), приточные струи будут обладать слабой неизотермичностью, что избавляет от необходимости проводить трудоемкий расчет воздухо-распределителей и использовать воздухо-распределители, предназначенные для воздушного отопления. Достаточно дать воздух вдоль фасадов здания так, чтобы приточная струя входила в рабочую зону под комфортным для работающего персонала углом. Для качественного проветривания желательно удалять воздух из верхней зоны воздуховодом, проложенным по центральной оси неотапливаемой части склада (рис. 1). Подбор вентиляторов на переточных системах осуществляется на соответствующую долю расхода и аэродинамические потери, которые будут формироваться при этих расходах в воздуховодах переточных систем.

Для начала решим более традиционную задачу построения процессов обработки воздуха в отапливаемой части склада. Начинаем расчет с нанесения на $I-d$ диаграмму влажного воздуха точки наружного воздуха Н и диапазона допустимых параметров внутреннего воздуха (рис. 2). Зона I — для отапливаемой части, зона II — для неотапливаемой. По известным полным теплоизбыткам и влаговыделениям определяем значение коэффициента луча процесса. Проводим луч процесса по касательной слева к зоне допустимых параметров (наиболее экономически целесообразное решение). Так как расход воздуха задается кратностью и зафиксирован, то его ассимилирующая способность тоже неизменна, а значит, можно установить приращение энтальпии между точками П и У (приточный и удаляемый воздух соответственно):

$$G = \frac{3600Q_{\text{пол}}}{I_y - I_{\text{п}}} = \rho L, \text{ кг/ч};$$

$$I_y - I_{\text{п}} = \frac{3600Q_{\text{пол}}}{\rho L} = \frac{3600 \cdot 8,814}{1,22 \cdot 24\,670} = 1,05, \text{ кДж/кг}.$$

Таким образом, луч процесса представляет собой очень короткий отрезок, длиной 1,05 единиц энтальпии. При подаче воздуха в верхнюю зону помещения точки В и У можно считать совпадающими и располагающимися на пересечении луча процесса и зоны допустимых параметров внутреннего воздуха (рис. 2). Тогда точку П следует искать ниже по лучу процесса на 1,05 единиц энтальпии. Отметим

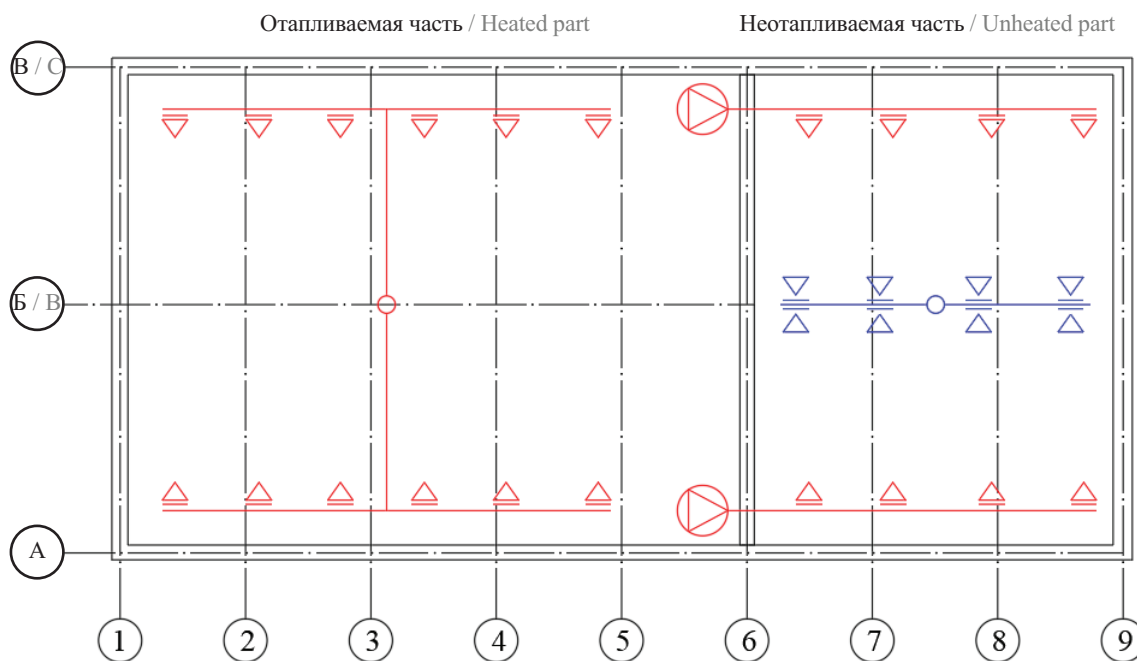


Рис. 1. Планировка склада и принципиальная схема систем вентиляции

Fig. 1. Layout of the warehouse and schematic diagram of the ventilation systems

точку П и определим ее влажность (53 %). Следует заметить, что попасть из точки Н в точку П только нагреванием воздуха невозможно. Для этого необходимо также предусматривать влажностную обработку, предпочтительно с применением изотермического (парового) увлажнения. Проведем изотерму из точки П влево до пересечения с вертикалью, проведенной из точки Н. На пересечении обозначим точку П' (состояние воздуха после вентилятора) и определим ее температуру (14 °С). Проходя через вентилятор, воздух подогревается на 1–4 °С (зависит от температуры, с которой воздух входит, конструкции и режима работы вентилятора и ряда других параметров). Примем в нашем случае 1,5 °С. Тогда перед вентилятором (т.е. после калорифера, точка К) воздух будет иметь температуру 12,5 °С. Отметим эту точку на 1,5 градуса ниже П'.

Процесс обработки приточного воздуха для отопления склада выглядит так:

1) нагревание наружного воздуха калорифером до температуры +12,5 °С;

2) подогрев в вентиляторе на 1,5 °С;

3) изотермическое увлажнение паровым увлажнителем (пар подается в канал после вентилятора на удалении от него в соответствии с монтажной схемой увлажнителя) до относительной влажности 53 %. Увлажнять воздух в этом процессе можно и сильнее вплоть до 70 %. Так или иначе требуемые параметры все равно будут соблюдаться.

В неотапливаемую часть склада воздух поступает в точке У (или В, так как они совпадают), которая уже находится в зоне допустимых параметров, однако при другой схеме воздухораспределения точки могут не совпадать. Тогда точку У следует искать на луче процесса при температуре, определяемой по формуле:

$$t_y = t_b + (H - h_{p.з.}) \text{gradt}, \text{ } ^\circ\text{C},$$

где H — разность высотных отметок между полом и уровнем, с которого воздух забирается в приточный канал, м; $h_{p.з.}$ — высота рабочей (обслуживаемой) зоны, м; gradt — температурный градиент, определяемый по удельной теплонапряженности помещения, °С/м.

Температура воздуха в неотапливаемой части склада, очевидно, будет функцией тепловых потерь:

$$t_x = f(Q_{\text{тп}}),$$

что позволяет разработать модель обменных процессов.

Спрогнозировать состояние воздуха при движении его по неотапливаемой части можно исходя из следующих соображений: из отапливаемой части в неотапливаемую заходит $G = 30\,097$ кг/ч воздуха в состоянии, соответствующем точке У; воздух, двигаясь в неотапливаемой части, отдает явную и скрытую теплоту, соприкасаясь с наружными ограждающими конструкциями, после чего удаляется вытяжной системой. На этом и построим расчетную

модель. Для начала установим коэффициенты теплопередачи поверхностей, через которые теплота будет уходить на улицу. Сопротивление теплопередаче вертикальных и горизонтальных наружных ограждающих конструкций примем по данным проекта. Коэффициенты теплопередачи этих конструкций определим как обратные величины к сопротивлениям (сопротивление пограничных слоев также учитывается). Коэффициенты теплопередачи для I–IV зон пола по грунту примем равными 1/2,1; 1/4,3; 1/8,6; 1/14,2 соответственно. Площади каждого из элементов теплозащитной оболочки здания вычислим по чертежам. Средний коэффициент теплопередачи конструкций определим как средний по площади:

$$K_{\text{ср}} = \frac{K_1 A_1 + K_2 A_2 + \dots + K_i A_i + \dots + K_n A_n}{\sum_{i=1}^n A_i} = 0,31, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Тепловой баланс неотапливаемой части выглядит так: воздух, поступающий в неотапливаемую часть, является потоком энтальпии, который обозначим как H_1 ; этот поток, вследствие теплопотерь через наружные стены, утрачивает мощность, которую обозначим Q ; выходящий из неотапливаемой части воздух — это поток энтальпии, обозначим H_2 . В математическом выражении это запишется так:

$$H_1 - Q = H_2, \text{ Вт},$$

где $H_1 = G \cdot C \cdot t_n$ (C — теплоемкость воздуха, равная 1005 Дж/(кг·К)); $Q = K_{\text{ср}} \cdot A^* \cdot (t_{b2} - t_5^{0,92})$; (A^* — суммарная площадь всех ограждающих конструкций, м²; t_{b2} — средняя температура воздуха внутри неотапливаемой части, °С, $t_{b2} = (t_n + t_{y2})/2$; t_n — температура приточного воздуха, поступающего из отапливаемой части, равная 14 °С); $H_2 = G \cdot C \cdot t_{y2}$ (t_{y2} — температура воздуха на выходе из неотапливаемой части, °С).

Подставляем в уравнение тепловых балансов:

$$G \cdot C \cdot t_n - K_{\text{ср}} \cdot A^* \cdot ((t_n + t_{y2})/2 - t_5^{0,92}) = G \cdot C \cdot t_{y2}.$$

Учитывая схему воздухораспределения (удаление производится из верхней зоны), можно с достаточной точностью принять, что $t_{b2} = t_{y2}$, тогда уравнение тепловых балансов примет более простой вид:

$$G \cdot C \cdot t_n - K_{\text{ср}} \cdot A^* \cdot (t_{y2} - t_5^{0,92}) = G \cdot C \cdot t_{y2}.$$

При необходимости также можно учесть добавочные тепловые потери, характеризуемые коэффициентом β , и затраты на нагрев инфильтрующегося воздуха. В этом случае теплопотери Q будут складываться из двух слагаемых:

$$\sum Q_i^{\text{в}} = K \Delta t (1 + \sum \beta) n;$$

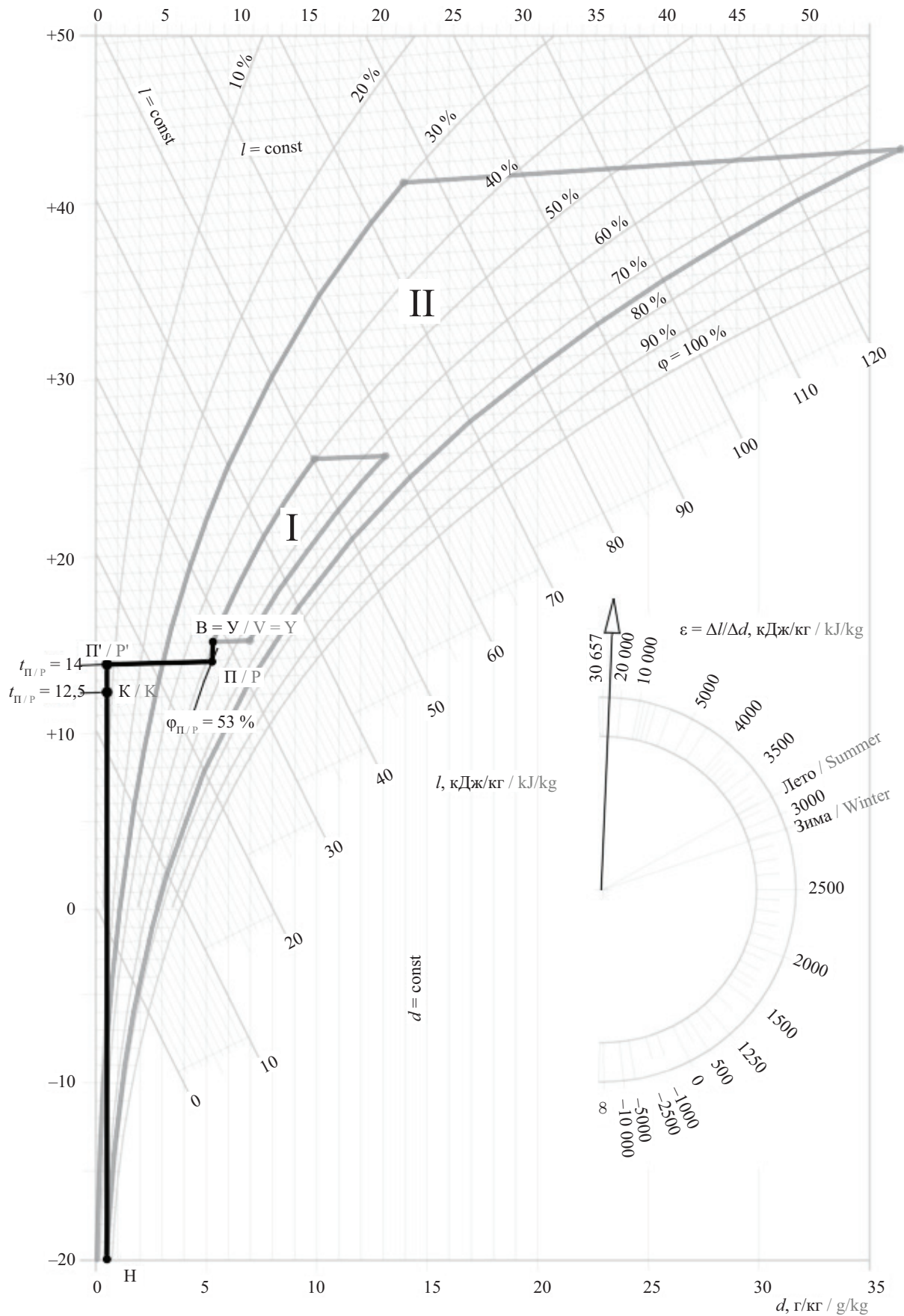


Рис. 2. Процесс обработки воздуха в холодный период года в отапливаемой части

Fig. 2. The process of air treatment in the cold season in the heated part

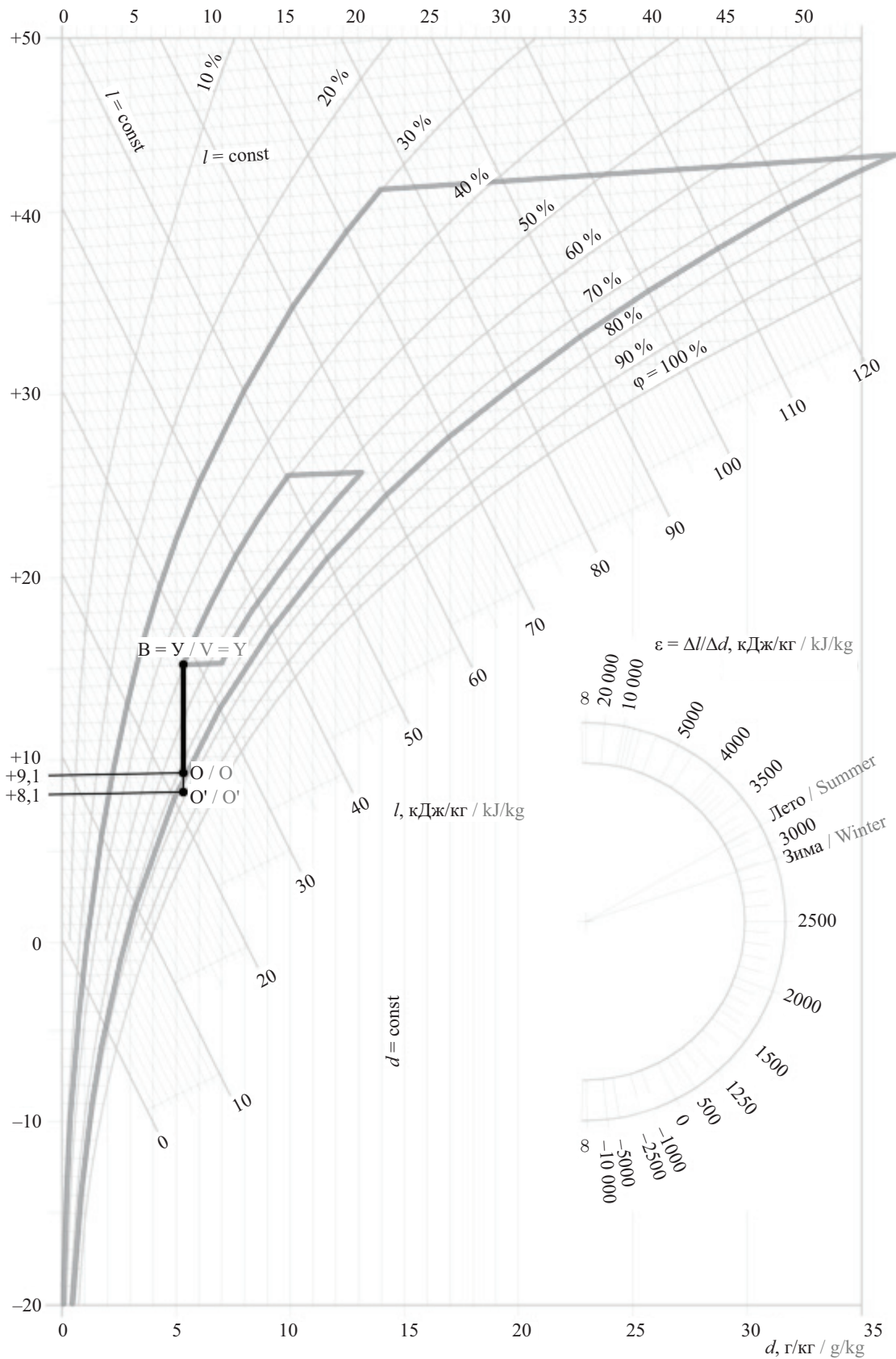


Рис. 3. Схема обработки воздуха при его движении внутри неотапливаемой части здания
Fig. 3. Scheme of air treatment during its movement inside the unheated part of the building

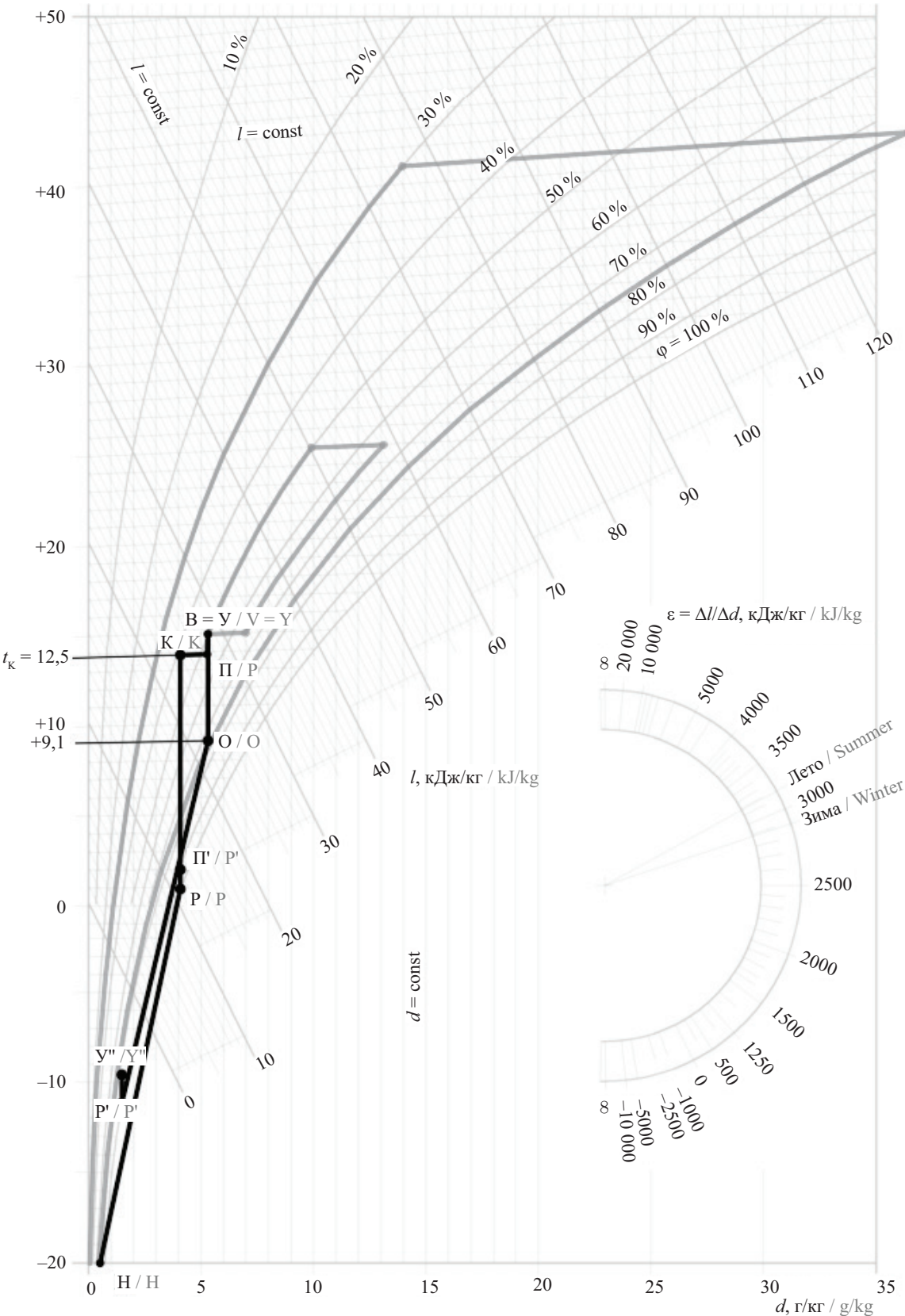


Рис. 4. Схема обработки воздуха при его движении внутри обеих частей здания при использовании роторного регенератора

Fig. 4. Scheme of air treatment during its movement inside both parts of the building when using a rotary regenerator

$$\sum Q^{inf(t_a - t_x)}.$$

Выражаем t_{y2} :

$$t_{y2} = \frac{t_n \cdot (2 - a) + 2a \cdot t_s^{0,92}}{a + 2} = 9,1, \text{ } ^\circ\text{C},$$

где $a = K_{cp} \cdot A^*/(G \cdot C)$.

Средняя температура внутри неотапливаемой части составит:

$$t_{n2} = t_{y2} = 9,1, \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Чтобы определить относительную влажность воздуха необходимо изобразить процесс охлаждения на $I-d$ диаграмме. Построение начнем с точки У. Так как в процессе охлаждения (предположительно) будет теряться не только явная, но и скрытая теплота, то для определения положения точки В₂ (состояние внутреннего воздуха в неотапливаемой части) следует точку У соединить с точкой О', температура которой равна температуре поверхности ограждающих конструкций, а относительная влажность равна 100 %. Среднюю температуру поверхностей ограждающих конструкций определим по формуле:

$$t_{пов} = t_s^{0,92} + K_{cp} \left(\frac{1}{K_{cp}} - \frac{1}{8,7} \right) \cdot (t_{B2} - t_s^{0,92}) = 8,1, \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Так как 8,1 °С — это значение, превышающее температуру точки росы для воздуха в состоянии У, то процесс охлаждения будет «сухим», а точка О' будет иметь влажность менее 100 %. Она будет располагаться под точкой У и иметь температуру 8,1 °С. Точка О' является условным окончанием процесса охлаждения, а точка У — его началом. После построения обеих точек соединяем их. В нашем случае процесс идет не до точки О', а до точки О, имеющей ранее вычисленную температуру 9,1 °С. По этой температуре ее и следует найти на линии У–О'. Относительная влажность точки О составит 73 %, что

соответствует допустимому диапазону. Построение приведено на рис. 3.

Важно заметить, что данный расчет выполнен по осредненным характеристикам, т.е. для помещения «в среднем». В реальности в различных точках помещения параметры микроклимата отличаются и вблизи ограждающих конструкций температура воздуха будет близка к 8,1 °С, а влажность к 80 % (соответствует точке О'). Тем не менее даже в этом случае требования к микроклимату в рабочей зоне нарушены не будут.

При использовании установки с роторным регенератором процессы обработки будут выглядеть так, как показано на рис. 4. В этом случае вытяжной воздух О будет забираться в роторный регенератор и отдавать часть своей теплоты и влаги приточному воздуху.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

В рамках статьи рассмотрен конкретный пример и разработаны рекомендации по организации переточного воздушного отопления с целью экономии тепловой энергии при поддержании требуемых параметров микроклимата в отапливаемой и неотапливаемой частях промышленного здания. Предложена модель, позволяющая выполнить необходимые расчеты для решения этой задачи, рассмотрено применение роторного рекуператора для целей теплоутилизации.

Перспективой исследований в данной области может быть изучение случаев, в которых применяются другие схемы воздухораспределения; воздух теряет не только явную, но и скрытую теплоту; используются другие виды теплоутилизационного оборудования (пластинчатые или энтальпийные рекуператоры, теплоутилизация с применением промежуточного теплоносителя и др.). Также интерес представляют обзорные статьи, содержащие информацию об анализе допустимости применения рассмотренной технологии в зданиях с различным технологическим процессом, архитектурой, регионом строительства и применяемым вентиляционным оборудованием.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Лосев Д. Воздушное отопление // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. 2010. № 8 (104). С. 64–67. EDN RFTFOJ.
2. Лосев Д.П. Все о воздушном отоплении // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. 2013. № 3 (135). С. 68–71. EDN RINWEZ.
3. Лосев Д.П. Все о воздушном отоплении // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. 2010. № 7 (103). С. 50–52. EDN RFOBFR.
4. Вишневский Е.П., Степанов А.Н. Воздушное отопление логистических центров // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. 2013. № 2 (134). С. 70–75. EDN PQHWPZ.
5. Белугин А.С., Чесноков Б.П., Наумова О.В. Особенности организации подачи воздуха при устройстве воздушного отопления, совмещенного с вентиляцией // Проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспе-

чения : мат. VIII Нац. конф. с междунар. участием. 2018. С. 40–43. EDN YWNICD.

6. *Kindaichi S., Kindaichi T.* Indoor thermal environment and energy performance in a central air heating system using a heat pump for a house with underfloor space for heat distribution // *Building Services Engineering Research and Technology*. 2022. Vol. 43. Issue 6. Pp. 755–766. DOI: 10.1177/01436244221117356

7. *Новгородский Е.Е., Василенко А.И.* Энергетическая эффективность компоновочных решений систем воздушного отопления // *Энергосбережение и водоподготовка*. 2004. № 1. С. 37–39. EDN JVCNPJ.

8. *Белугин А.С., Чесноков Б.П., Наумова О.В.* Анализ типов воздухонагревателей для систем воздушного отопления // *Наука и образование: новое время*. 2018. № 5 (28). С. 26–29. EDN YOBQMX.

9. *Satpati B., Alam Md.A., Datta S., Koley C.* Modelling simulation and validation of duct air heating system // *2013 IEEE International Conference on Control Applications (CCA)*. 2013. DOI: 10.1109/CCA.2013.6662892

10. *Серигов С.В., Ильина Т.Н.* Утилизация тепла уходящих газов котельной установки в системе воздушного отопления // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2013. № 4. С. 53–55. EDN QCEJRB.

11. *Бельмаз Д.Н.* Способ использования вторичной теплоты продуктов переработки нефти в воздушном отоплении зданий // *Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвящ. 160-летию со дня рождения В.Г. Шухова*. 2013. С. 74–79. EDN SHNSSZ.

12. *Васильев И.И., Каменева К.И.* Воздушное отопление с рекуперацией тепла в условиях Крайнего Севера // *Управление инновациями: теория, методология, практика*. 2014. № 11. С. 93–96. EDN SZTQBP.

13. *Liu J., Lu Y., Tian X., Lin Z.* Analyses of yearly performance dual-temperature warm air heating system applied in different climates // *Applied Thermal Engineering*. 2021. Vol. 194. P. 117076. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2021.117076

14. *Киборт И.Д., Кошкарев А.Ю.* Энергоэффективная система воздушного отопления подсобных помещений котельной // *Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе : мат. Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов, посвящ. 50-летию создания Тюменского индустриального института*. 2013. С. 134–137. EDN SBMMYH.

15. *Liu J., Tian X., Lin Z.* Performance analysis of a novel dual heat source warm air heating system with ecofriendly refrigerants // *Building and Environment*. 2021. Vol. 194. P. 107679. DOI: 10.1016/j.buildenv.2021.107679

16. *Саулина Т.А., Семикова Е.Н.* Оценка эффективности использования воздушной системы отопления в производственных зданиях // *VII Всерос. фестиваль науки : сб. докл. в 2 т. Т. 1*. 2017. С. 303–306. EDN ZVTWLV.

17. *Винокуров К.В., Бедило П.С.* Применение энергосберегающих технологий при проектировании воздушного отопления производственных зданий на мукомольных и крупяных предприятиях // *Территория инноваций*. 2018. № 12 (28). С. 20–24. EDN YTYDBJ.

18. *Иванов К.В.* Технологии воздушного отопления в зданиях сельскохозяйственного назначения // *Вестник науки*. 2018. Т. 4. № 7 (7). С. 114–120. EDN YLRETZ.

19. *Ahmed K., Sistonen E., Simson R., Kurnitski J., Kesti J., Lautso P.* Radiant panel and air heating performance in large industrial buildings // *Building Simulation*. 2018. Vol. 11. Issue 2. Pp. 293–303. DOI: 10.1007/s12273-017-0414-8

20. *Баканова С.В., Ониани В.Т.* Отопление зданий предприятий торговли и бытового обслуживания с помощью систем воздушного отопления // *Проблемы энергосбережения в промышленном и жилищно-коммунальном комплексах : сб. ст. XIX Междунар. науч.-практ. конф.* 2018. С. 44–47. EDN XYOEDJ.

Поступила в редакцию 9 марта 2023 г.

Принята в доработанном виде 20 июня 2023 г.

Одобрена для публикации 20 июня 2023 г.

ОБ АВТОРАХ: **Самвел Володяевич Саргсян** — кандидат технических наук, доцент, директор НОЦ «Теплогасоснабжение и вентиляция»; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 429896; SargsyanSV@mgsu.ru;

Валерий Юрьевич Кравчук — преподаватель кафедры теплогасоснабжения и вентиляции; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 804603; valerik_kravchuk@mail.ru.

Вклад авторов:

Саргсян С.В. — научное руководство, концепция исследования, разработка модели и алгоритма, редактирование текста.

Краучук В.Ю. — написание исходного текста, итоговые выводы, разработка модели и алгоритма.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Losev D. Air heating. *Plumbing, Heating, Air conditioning*. 2010; 8(104):64-67. EDN RFTFOJ. (rus.).
2. Losev D.P. All about air heating. *Plumbing, Heating, Air conditioning*. 2013; 3(135):68-71. EDN RINWEZ. (rus.).
3. Losev D.P. All about air heating. *Plumbing, Heating, Air conditioning*. 2010; 7(103):50-52. EDN RFOBFR. (rus.).
4. Vishnevsky E.P., Stepanov A.N. Air heating of logistic centers. *Plumbing, Heating, Air conditioning*. 2013; 2(134):70-75. EDN PQHWPZ. (rus.).
5. Belugin A.S., Chesnokov B.P., Naumova O.V. Features of the organization of air supply in the device of air heating combined with ventilation. *Problems and prospects for the development of construction, heat and gas supply and energy supply : materials of the VIII National conference with international participation*. 2018; 40-43. EDN YWNICD. (rus.).
6. Kindaichi S., Kindaichi T. Indoor thermal environment and energy performance in a central air heating system using a heat pump for a house with underfloor space for heat distribution. *Building Services Engineering Research and Technology*. 2022; 43(6):755-766. DOI: 10.1177/01436244221117356
7. Novgorodsky E.E., Vasilenko A.I. Energy efficiency of layout solutions for air heating systems. *Energy Saving and Water Treatment*. 2004; 1:37-39. EDN JVCPNJ. (rus.).
8. Belugin A.S., Chesnokov B.P., Naumova O.V. Analysis of types of air heaters for air heating systems. *Science and Education: New Time*. 2018; 5(28):26-29. EDN YOBQMX. (rus.).
9. Satpati B., Alam Md.A., Datta S., Koley C. Modelling simulation and validation of duct air heating system. *2013 IEEE International Conference on Control Applications (CCA)*. 2013. DOI: 10.1109/CCA.2013.6662892
10. Serikov S.V., Ilyina T.N. Utilization of waste heat from a boiler installation in an air heating system. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2013; 4:53-55. EDN QCEJRB. (rus.).
11. Belmaz D.N. The method of using the secondary heat of oil refining products in the air heating of buildings. *International Scientific and Technical Conference of Young Scientists of the Belarusian State Technical University. V.G. Shukhov, dedicated to the 160th anniversary of the birth of V.G. Shukhov*. 2013; 74-79. EDN SHNSSZ. (rus.).
12. Vasiliev I.I., Kameneva K.I. Air heating with heat recovery in the conditions of the Far North. *Management of innovations: theory, methodology, practice*. 2014; 11:93-96. EDN SZTQBP. (rus.).
13. Liu J., Lu Y., Tian X., Lin Z. Analyses of yearly performance dual-temperature warm air heating system applied in different climates. *Applied Thermal Engineering*. 2021; 194:117076. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2021.117076
14. Kibort I.D., Koshkarev A.Yu. Energy-efficient air heating system for utility rooms of the boiler room. *Energy saving and innovative technologies in the fuel and energy complex: materials of the All-Russian scientific and practical conference of students, graduate students, young scientists and specialists dedicated to the 50th anniversary of the Tyumen Industrial Institute*. 2013; 134-137. EDN SBMMYH. (rus.).
15. Liu J., Tian X., Lin Z. Performance analysis of a novel dual heat source warm air heating system with ecofriendly refrigerants. *Building and Environment*. 2021; 194:107679. DOI: 10.1016/j.buildenv.2021.107679
16. Saulina T.A., Semikova E.N. Evaluation of the effectiveness of the use of an air heating system in industrial buildings. *VII All-Russian Festival of Science: a collection of reports : in 2 volumes. Volume 1*. 2017; 303-306. EDN ZVTWLV. (rus.).
17. Vinokourov K.V., Bedilo P.S. The use of energy-saving technologies in the design of air heating of industrial buildings in the milling and cereal enterprises. *Territory of Innovations*. 2018; 12(28):20-24. EDN YTYDBJ. (rus.).
18. Ivanov K.V. Air heating technologies in agricultural buildings. *Vestnik nauki*. 2018; 4(7):114-120. EDN YLRETZ. (rus.).
19. Ahmed K., Sistonen E., Simson R., Kurnitski J., Kesti J., Lautso P. Radiant panel and air heating performance in large industrial buildings. *Building Simulation*. 2018; 11(2):293-303. DOI: 10.1007/s12273-017-0414-8
20. Bakanova S.V., Oniani V.T. Heating of buildings of trade and consumer services using air heating systems. *Problems of energy saving in the industrial and housing and communal sectors: collection of articles of the XIX International Scientific and Practical Conference*. 2018; 44-47. EDN XYOEDJ. (rus.).

Received March 9, 2023.

Adopted in revised form on June 20, 2023.

Approved for publication on June 20, 2023.

B I O N O T E S : **Samvel V. Sargsyan** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head Director of the Scientific and Educational Center “Heat and Gas Supply and Ventilation”; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 429896; SargsyanSV@mgsu.ru;

Valeriy Yu. Kravchuk — lecturer of the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 804603; valerik_kravchuk@mail.ru.

Contribution of the authors:

Samvel V. Sargsyan — scientific guidance, research concept, model and algorithm development, text review.

Valeriy Yu. Kravchuk — writing the source text, final conclusions, development of the model and algorithm.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Усовершенствованная рекуператорная установка
с повышенным коэффициентом полезного действия
для использования в механических системах вентиляции

Дмитрий Олегович Хлопицын, Андрей Георгиевич Рымаров
Национальный исследовательский Московский государственный строительный
университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Инженерные системы являются неотъемлемой частью всех зданий. Именно они предоставляют комфортное пребывание и обеспечивают жизнедеятельность для человека. Роль энергосберегающих мероприятий, применяемых в строительстве и эксплуатации инженерных систем, очень важна. С помощью данных технологий и их усовершенствования происходит энергосбережение природных ресурсов. Энергоэффективность в технологиях помогает уменьшать затраты на энергетические ресурсы, обеспечивать необходимый уровень технологических процессов в зданиях. Рассмотрена проблема энергосбережения в механических системах вентиляции. Для реализации энергоэффективного использования ресурсов предложена усовершенствованная рекуператорная установка с повышенным коэффициентом полезного действия (КПД). В настоящее время для инженеров должен существовать больший выбор применяемых конструкций рекуператоров с повышенным КПД, которые можно использовать под разные типы объектов и технические условия.

Материалы и методы. Рекуператор предлагается как аналог существующих образцов и относится к области энергоэффективности в системах вентиляции.

Результаты. Предложено повышение КПД по сравнению с аналогами за счет увеличения площади соприкосновения теплоносителей; особой внутренней конструкции, способной к более равномерной теплопередаче; нетиповой схемы расположения рекуператорной установки для избежания обмерзания и оттайки конденсата у теплопередающей поверхности. Применение возможно во многих типах зданий, так как имеется минимальное смешение приточного и вытяжного воздуха. Работа системы вентиляции регулируется автоматикой для получения более комфортного микроклимата в помещении.

Выводы. Новая конструкция приобретает повышенный КПД по сравнению с аналогами.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: рекуператорная установка, теплообмен, теплопередача, теплоноситель, вентиляция

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Хлопицын Д.О., Рымаров А.Г. Усовершенствованная рекуператорная установка с повышенным коэффициентом полезного действия для использования в механических системах вентиляции // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. Вып. 9. С. 1444–1450. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.9.1444-1450

Автор, ответственный за переписку: Дмитрий Олегович Хлопицын, dkhlopitsyn@mail.ru.

Improved recuperator unit with increased efficiency for use
in mechanical ventilation systems

Dmitrii O. Khlopitsyn, Andrey G. Rymarov

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Engineering systems are an integral part of all buildings. It is they who provide a comfortable stay and provide vital activity for a person. The role of energy-saving measures used in the construction and operation of engineering systems is very important. With the help of these technologies and their improvements, energy conservation of natural resources takes place. Energy efficiency in technology helps humanity to reduce the cost of energy resources, but at the same time to ensure the necessary level of technological processes in buildings. This article will show the problem of energy saving in mechanical ventilation systems. To implement energy-efficient use of resources, an improved recuperator unit with an increased efficiency is proposed. Currently, for engineers, there should be a greater choice of used recuperator designs with an increased efficiency, which can be used for different types of objects and technical conditions.

Materials and methods. The recuperator is offered as an analogue of existing samples and relates to the field of energy efficiency in ventilation systems.

Results. An increase in efficiency compared to analogues due to an increase in the area of contact of heat carriers, due to a special internal design capable of more uniform heat transfer, due to a non-standard layout of the recuperator unit to avoid freezing and “defrosting” of condensate at the heat transfer surface. Application in many types of buildings, as there

is minimal mixing of supply and exhaust air. The operation of the ventilation system is regulated by automation, in order to obtain a more comfortable microclimate in the room.

Conclusions. The new design acquires an increased efficiency compared to analogues.

KEYWORDS: recuperator unit, heat exchange, heat transfer, coolant, ventilation

FOR CITATION: Khlopitsyn D.O., Rymarov A.G. Improved recuperator unit with increased efficiency for use in mechanical ventilation systems. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2023; 18(9):1444-1450. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.9.1444-1450 (rus.).

Corresponding author: Dmitrii O. Khlopitsyn, dkhlopitsyn@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Энергосберегающие мероприятия в системе механической вентиляции всегда пользовались спросом у инженеров и заказчиков, так как именно они показывают со временем положительные стороны в эксплуатации системы вентиляции. С развитием технологий на рынке энергосбережения в системах вентиляции большой спрос получили рекуператоры. Системы механической вентиляции с использованием рекуператоров массово применяются на объектах, где возрастает необходимость в минимальных затратах энергоресурсов. Рекуператоры — теплообменники, позволяющие передавать тепло от более нагретого к менее нагретому теплоносителю [1–4]. Проектирование и монтаж механической системы вентиляции с использованием воздушных теплообменников выполняют для жилых, общественных и производственных зданий. Рекуператоры подразделяют на следующие виды:

- камерный;
- с промежуточным теплоносителем;
- пластинчатый;
- фреоновый;
- роторный.

При правильном подходе к проектированию можно значительно повысить эффективность рекуператорных установок [5–7]. Модернизация конструкций воздушных теплообменных аппаратов является важной задачей для повышения коэффициента полезного действия (КПД) существующих аналогов. Ведущие компании мира ставят приоритетной задачей повышение энергосбережения с помощью изменения конструкции как самой установки, так и теплопередающей поверхности. Ключевые цели — экономия денежных средств на покупку установки, легкость при эксплуатации и окупаемость со временем.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В статье предложен аналог, созданный на базе пластинчатого и кожухотрубного теплообменников, отличающийся конструкцией от имеющихся на сегодняшний день и нетиповой схемой расположения. В исследовании рассматривается рекуператор, работающий на теплоносителе — воздухе.

Технический результат работы — повышение КПД при помощи:

- отсутствия обмерзания и оттайки теплопередающей поверхности;
- нетиповой схемы расположения;
- вида теплопередающего материала;
- оребрения поверхности;
- увеличения площади теплопередающей поверхности за счет расположения вытяжных воздуховодов с приточными воздуховодами, объединенными в общий короб;
- автоматизации работы системы вентиляции.

Для большей экономии тепла была спроектирована установка, позволяющая добиться большей энергоэффективности в холодный и переходный периоды года. Особенность конструкции в том, что рекуператор играет роль трассы воздуховода и воздухораспределительного устройства одновременно, воздуховоды вытяжной и приточной систем объединены в один прямоугольный корпус. Внутри внешнего короба проходит менее нагретый воздух (приточный воздух), поступающий из нагревателя с температурой не ниже 5 °С, для отсутствия обмерзания теплопередающей поверхности и поддержания высокого КПД установки. Приточный воздух обтекает трубки ромбовидной формы с оребрением, где проходит удаляемый воздух.

Важную роль в интенсивности теплопередачи от более нагретого теплоносителя к менее нагретому (воздух–воздух) играют конструкция рекуператорной установки [8–12], расположение после нагревателя для отсутствия обмерзания и оттайки, теплопередающий материал, оребрение теплопередающей поверхности и обтекание теплопередающего материала теплоносителями. Все составляющие влияют на один из самых важных параметров — критерий Нуссельта. Именно критерий Нуссельта главным образом влияет на теплоотдачу от поверхности теплопередающего материала со стороны приточного и вытяжного воздуха [13–24]. Автоматика контролирует процессы в механической системе вентиляции и может регулировать мощность начального нагрева [25–27].

Движение теплоносителя в рекуператорной установке — смешанный процесс, что позволяет приточному воздуху сделать длиннее путь от точки входа теплоносителя в воздушный теплообменник до выхода из него. Трубки ромбообразной формы приняты для того, чтобы поток приточного воздуха проходил с большим обтеканием, образующимся еще и с помощью ступенчатого расположения. Эта схема дает возможность использовать все плюсы

противоточного, прямоточного и перекрестного движения. Данная рекуператорная установка относится к группе установок непрерывного действия. Все процессы, протекающие в теплообменнике, происходят на протяжении всего периода работы системы вентиляции. Для демонстрации рекуператорной установки представлены принципиальная схема и внутренняя конструкция (рис. 1–5).

Состав установки: 1 — нагреватель; 2 — приточный вентилятор; 3 — вытяжной вентилятор; 4 — датчик температуры; 5 — автоматический щит управления; 6 — приточный воздуховод; 7 — вытяжной воздуховод; 8 — приточный воздух; 9 — вытяжной воздух; 10 — рекуператорная установка; 11 — теплопередающая поверхность; 12 — внешний воздуховод (короб); 13 — приточное воздухо-распределительное устройство; 14 — вытяжная решетка; 15 — короб для стабилизации воздушного потока; 16 — дроссель-клапан; 17 — перегородка.

Рассмотрим алгоритм работы усовершенствованной рекуператорной установки, позволяющей повысить КПД в холодный и переходный периоды года.

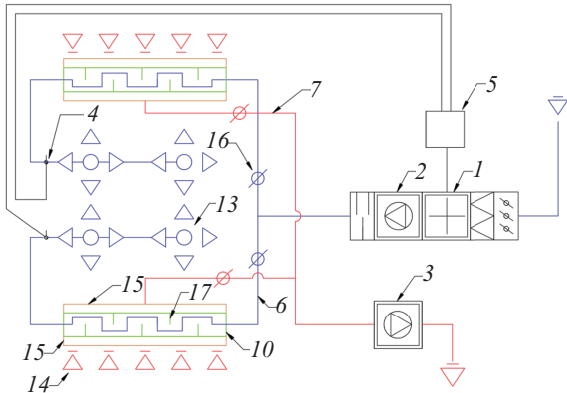


Рис. 1. Принципиальная схема усовершенствованной рекуператорной установки с повышенным КПД для использования в механических системах вентиляции

Fig. 1. Schematic diagram of an improved recuperator unit with an increased efficiency for use in mechanical ventilation systems

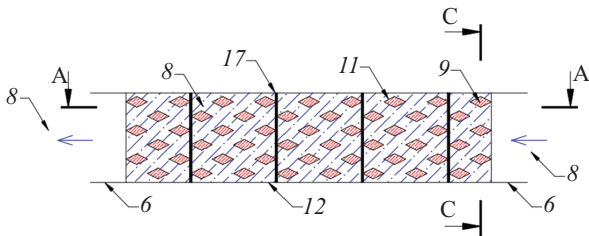


Рис. 2. Продольное сечение усовершенствованной рекуператорной установки с повышенным КПД для использования в механических системах вентиляции

Fig. 2. Longitudinal section of an improved recuperator unit with an increased efficiency for use in mechanical ventilation systems

Приточный воздух нагревается до температуры не ниже 5 °С в нагревателе 1 (для отсутствия обмерзания и оттайки теплопередающей поверхности для поддержания высокого КПД установки) и подается приточным вентилятором 2 по приточному воздуховоду 6, проходит через клапан 16 для регулировки потерь давления и попадает в рекуператорную установку 10, где догревается за счет вытяжного воздуха 9, который является более нагретым. Далее приточный воздух 8, выходя из рекуператорной установки 10, проходит по приточному воздуховоду 6 и доходит до датчика температуры 4, который анализирует необходимую температуру и с помощью автоматики подает сигнал на нагреватель 1, который в свою очередь нагревает или охлаждает

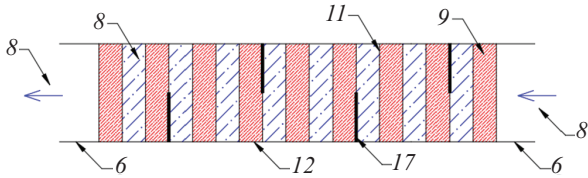


Рис. 3. Продольное сечение А–А усовершенствованной рекуператорной установки с повышенным КПД для использования в механических системах вентиляции

Fig. 3. Longitudinal section A–A of an improved recuperator unit with an increased efficiency for use in mechanical ventilation systems

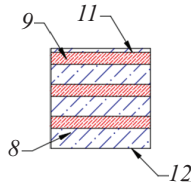


Рис. 4. Поперечное сечение С–С усовершенствованной рекуператорной установки с повышенным КПД для использования в механических системах вентиляции

Fig. 4. Cross section C–C of an improved recuperator unit with an increased efficiency for use in mechanical ventilation systems

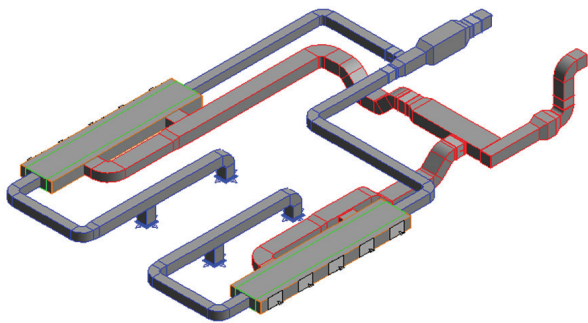


Рис. 5. BIM-модель усовершенствованной рекуператорной установки с повышенным КПД для применения в механических системах вентиляции

Fig. 5. BIM-model of an improved recuperator unit with an increased efficiency for use in mechanical ventilation systems

первую ступень нагрева, в процессе приточный воздух 8 поступает в помещение из приточного воздухораспределительного устройства 13.

Вытяжной воздух 9 забирается вытяжными решетками 14 и затем поступает в короб стабилизации воздушного потока 15 для более равномерного входа в рекуператорную установку 10 и теплопередачи между вытяжным воздухом 9 и приточным воздухом 8. Вытяжной воздух 9 в рекуператоре проходит через трубки, сделанные из материала с высоким коэффициентом теплопроводности ромбообразного строения и расположенные смещено по типу движения потока приточного воздуха 8. Далее вытяжной воздух 9, выходящий из рекуператорной установки 10, поступает в короб стабилизации воздушного потока 15. Из короба вытяжной воздух поступает в вытяжной воздуховод 7, проходит через клапан 16 для регулировки потерь давления и удаляется вытяжным вентилятором 3.

Конденсат, выпадающий при осуществлении теплообмена между вытяжным воздухом 9 и приточным воздухом 8, удаляется в дренажную систему.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Отметим положительные стороны рассмотренной установки:

1. Снижение затрат на мощность нагревателя. Нагрев приточного воздуха начинается в нагревателе с температуры наружного воздуха и до значения температуры входа в рекуператорную установку (не ниже 5 °С), догрев осуществляется в рекуператоре за счет переноса тепла от вытяжного к приточному воздуху через теплопередающую поверхность (трубки ромбообразной формы). Выход свежего воздуха в помещение из приточного воздухораспределительного устройства будет с нормируемой температурой, на которую выполнялся расчет системы вентиляции.

2. Снижение эксплуатационных затрат. При использовании рекуператора после нагревателя в системе механической вентиляции отсутствует обмерзание и последующая оттайка теплопередающей поверхности. Данная схема расположения рекуператора в системе вентиляции позволяет обходиться без замены теплопередающего материала или ремонта состава установки, так как на всем протяжении работы в холодный и переходный периоды года средняя температура работы в установке сохраняется плюсовой. Техническому персоналу необходимо делать проверку только на загрязнение, целостность теплопередающего материала возможно проверять один раз в год.

3. Простота конструкции усовершенствованного рекуператора. Конструкция усовершенствованной рекуператорной установки не содержит движущих элементов, теплопередающие трубки располагаются в коробе, что не вызывает трудностей в заводской сборке. Перегородки, установлен-

ные внутри рекуператорной установки, повышают интенсификацию теплопередачи.

4. Эстетическая составляющая. Рекуператор играет роль трассы воздуховода и воздухораспределительного устройства одновременно, что позволяет располагать в нем большую площадь теплопередающей поверхности, скорость теплоносителя (воздуха) не вызывает шума, так как поток движения, близкий к ламинарному.

5. Применение во многих типах зданий. Имеется минимальное смещение приточного и вытяжного воздуха.

6. Применение автоматики для регулирования и поддержания температуры. С помощью датчика температуры и щита управления происходит регулировка мощности нагрева приточного воздуха. Мощность нагрева варьируется в течение дня в зависимости от температуры наружного воздуха и внутреннего воздуха. Автоматика поддерживает необходимую нормируемую температуру свежего воздуха на выходе в помещение из приточного воздухораспределительного устройства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как видно из проектного решения, особая конструкция позволяет в холодный и переходный периоды года экономить тепловую мощность на нагревание приточного воздуха. Обмерзание теплопередающих пластин отсутствует и время их оттайки не сможет снизить КПД рекуператора, так как рекуператор установлен после нагревателя, играя роль доводчика, а поток приточного воздуха в точке входа в рекуператор имеет температуру не менее 5 °С. Автоматика контролирует весь процесс нагрева приточного воздуха в нагревателе для поддержания комфортного микроклимата в помещении. При проектировании данных рекуператоров необходимо учитывать:

- параметры:
 - 1) внутреннего воздуха;
 - 2) наружного воздуха;
 - 3) входа приточного воздуха в усовершенствованную рекуператорную установку (температура воздуха не менее 5 °С);
 - 4) выхода приточного воздуха из усовершенствованной рекуператорной установки;
 - 5) входа удаляемого воздуха в усовершенствованную рекуператорную установку;
 - 6) выхода удаляемого воздуха из усовершенствованной рекуператорной установки;
- расход приточного и вытяжного воздуха;
- площадь теплопередающей поверхности;
- материал и оребрение теплопередающей поверхности в усовершенствованной рекуператорной установке;
- количество поворотов потока приточного воздуха с помощью перегородок (удлинения траек-

тории пути входа приточного воздуха в рекуператорную установку и его выхода из нее).

При эксплуатации данных рекуператорных установок необходимо учитывать:

- регулярную очистку теплопередающей поверхности для поддержания расчетного КПД работы (минимизировать частую очистку теплопередающей поверхности в рекуператоре можно при помощи установки фильтра полной очистки «особо тонкой очистки» в системе механической вентиляции);
- регулярную проверку работы системы автоматики для поддержания температуры приточного воздуха.

Воздушные рекуператоры являются эффективным методом борьбы с затратами на тепловую мощ-

ность нагревателей в системах вентиляции. Воздушный теплообменник дает возможность значительно снизить затраты на подогрев воздуха, а также поддерживать качество воздуха в помещении для комфортного пребывания в нем людей.

Современные технологии в области вентиляции и кондиционирования воздуха ориентированы на энергосбережение и экологичность, что предполагает большее развитие рекуператорных установок, их вариантность конструкций, методов регулировки и контроля выходных параметров. Благодаря таким разработкам удастся минимизировать затраты на энергию и тем самым снизить потребление природных ресурсов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Коновалова Л.С., Загромов Ю.А. Теоретические основы теплотехники. Теплопередача : учебное пособие. Томск : Изд-во ТПУ, 2001. 118 с.
2. Видин Ю.В. Инженерные методы расчета задач теплообмена. М. : Инфра-М., 2018. 166 с.
3. Виноградов С.Н., Таранцев К.В., Виноградов О.С. Выбор и расчет теплообменников : учебное пособие. Пенза : Изд-во ПГУ, 2001. 100 с.
4. Бухмиров В.В., Ракутина Д.В., Солнышкова Ю.С., Пророкова М.В. Тепловой расчет рекуперативного теплообменного аппарата : учебное пособие. Иваново : Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, 2013. 124 с. EDN WBUDLB.
5. Самарин О.Д. Основы обеспечения микроклимата зданий : учебник. М. : АСВ, 2014. 203.
6. Краснов Ю.С., Борисоглебская А.П., Антипов А.В. Системы вентиляции и кондиционирования. Рекомендации по проектированию, испытаниям и наладке. М. : Термокул, 2006.
7. Алифанов О.М., Артюхин Е.А., Ненароков А.В. Обратные задачи в исследовании сложного теплообмена. М. : Янус-К, 2009. 299 с. EDN QMKSun.
8. Самарин О.Д., Яцына В.А. Исследование зависимости температурной эффективности пластинчатых рекуператоров от типоразмера вентиляционной установки // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. 2021. № 2 (230). С. 71–73. EDN NDMEZG.
9. Вдовичев А.А. К вопросу определения температурной эффективности пластинчатых перекрестно-точных рекуператоров воздуха // Вестник Евразийской науки. 2022. Т. 14. № 5. EDN XYXUEV.
10. Белоногов Н.В. Утилизация теплоты в перекрестно-точных пластинчатых рекуператорах // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. 2012. № 2 (122). С. 75–83. EDN RHWDYL.
11. Borowski M., Karch M., Kleszcz S., Sala P., Waryan G. An experimental and numerical investigation of the thermal and non-thermal efficiency for counterflow heat exchanger // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 128. P. 04008. DOI: 10.1051/e3sconf/201912804008
12. Kleszcz S., Jaszczur M., Pawela B. An analysis of the periodic counterflow heat exchanger for air-to-air heat recovery ventilators // Energy Reports. 2023. Vol. 9. Pp. 77–85. DOI: 10.1016/j.egy.2023.03.088
13. Golijanek-Jędrzejczyk A., Mrowiec A., Kleszcz S., Hanus R., Zych M., Jaszczur M. A numerical and experimental analysis of multi-hole orifice in turbulent flow // Measurement. 2022. Vol. 193. P. 110910. DOI: 10.1016/j.measurement.2022.110910
14. Chompookham T., Chingtuaythong W., Chokphoemphun S. Influence of a novel serrated wire coil insert on thermal characteristics and air flow behavior in a tubular heat exchanger // International Journal of Thermal Sciences. 2022. Vol. 171. P. 107184. DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2021.107184
15. Lamlerd B., Bubphachot B., Chompookham T. Experimental investigation of heat transfer characteristics of steam generator with circular-ring turbulators // Case Studies in Thermal Engineering. 2023. Vol. 41. P. 102549. DOI: 10.1016/j.csite.2022.102549
16. Белоногов Н.В., Пронин В.А. Оптимизация геометрических параметров перекрестно-точных пластинчатых рекуператоров // Вестник Международной академии холода. 2008. № 1. С. 21–23. EDN JXORYH.
17. Рутковский А.Л., Макоева А.К., Коробкин П.С. Использование рекуператора типа «труба в трубе» для возврата отходящих газов в вельц-печь барабанного типа // Наука и бизнес: пути развития. 2021. № 1 (115). С. 30–33. EDN EJDJJJ.
18. Сафронов К.Л. Аналитический обзор приточно-вытяжных вентиляций с рекуперацией //

Международный студенческий научный вестник. 2018. № 6. С. 100. EDN YRRQKL.

19. Вдовичев А.А. Численное исследование теплопереноса и аэродинамики в перекрестно-точном рекуператоре открытого типа // Вестник Евразийской науки. 2022. Т. 14. № 2.

20. Демидочкин В.В., Костуганов А.Б., Черчаев А.А. Определение теплотехнической эффективности пластинчатого теплоутилизатора // Вестник Оренбургского государственного университета. 2018. № 6 (218). С. 123–131. DOI: 10.25198/1814-6457-218-123. EDN HNFKOY.

21. Вдовичев А.А. Особенности численного моделирования пластинчатого перекрестно-точного рекуператора воздуха // Вестник Евразийской науки. 2021. № 5.

22. Карапузова Н.Ю., Фокин В.М. Расчет теплообменных аппаратов : методические указания к курсовому и дипломному проектированию. Волгоград : Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, 2013. 67 с. EDN WABVMN.

23. Краснощеков Е.А. Задачник по теплопередаче : учебное пособие для вузов. М. : Энергия, 1980. 288 с.

24. Булыгин Ю.А. Теплообменные аппараты в нефтегазовой промышленности : учебное пособие. Воронеж : Воронежский государственный технический университет, 2015. 100 с.

25. Halawa E., van Hoof J. The adaptive approach to thermal comfort : A critical overview // Energy and Buildings. 2012. Vol. 51. Pp. 101–110. DOI: 10.1016/j.enbuild.2012.04.011

26. Власенко О.М., Сорокин А.С., Абдулаев С.Х. Обогрев вентиляции при автоматизации производственных зданий легкой промышленности // Дизайн и технологии. 2015. № 50 (92). С. 70–77. EDN VXLCNT.

27. Пачкин С.Г., Котляров Р.В., Шевцова Т.Г., Иванов П.П., Ли С.Р., Преснова А.С. Разработка автоматизированной системы управления приточно-вытяжной вентиляцией // Современные наукоемкие технологии. 2022. № 1. С. 80–84. DOI: 10.17513/snt.39013. EDN CYYMBL.

Поступила в редакцию 21 апреля 2023 г.

Принята в доработанном виде 26 апреля 2023 г.

Одобрена для публикации 23 июня 2023 г.

ОБ АВТОРАХ: Дмитрий Олегович Хлопицын — аспирант; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 1107240, Scopus: 57224204063, ORCID: 0009-0003-4988-3385; dkhlopitsyn@mail.ru;

Андрей Георгиевич Рымаров — кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 665928, Scopus: 7801333552, ResearcherID: AFM-6219-2022, ORCID: 0000-0002-1901-1557; rymarov@yandex.ru.

Вклад авторов:

Хлопицын Д.О. — идея, сбор материала, обработка материала, написание статьи.

Рымаров А.Г. — научное руководство, научное редактирование текста, концепция исследования.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Konovalova L.S., Zagromov Yu.A. *Theoretical foundations of heat engineering. Heat transfer : textbook*. Tomsk, TPU Publ., 2001; 118. (rus.).

2. Vidin Yu.V. *Engineering methods for calculating heat transfer problems*. Moscow, Infra-M Publ., 2018; 166. (rus.).

3. Vinogradov S.N., Tarantsev K.V., Vinogradov O.S. *Selection and calculation of heat exchangers : textbook*. Penza, PGU Publ., 2001; 100. (rus.).

4. Bukhmirov V.V., Rakutina D.V., Solnyshkova Yu.S., Prorokova M.V. *Calculation of heat exchangers: methodological guidelines for course and diploma design : textbook*. Ivanovo, Ivanovo State Power Engineering University named after V.I. Lenina, 2013; 124. EDN WBUDLB. (rus.).

5. Samarin O.D. *Fundamentals of ensuring the microclimate of buildings : textbook*. Moscow, ASV, 2014; 203. (rus.).

6. Krasnov Yu.S., Borisoglebskaya A.P., Antipov A.V. *Ventilation and air conditioning systems. Recommendations for design, testing and commissioning*. Moscow, Termokul, 2006. (rus.).

7. Alifanov O.M., Artyukhin E.A., Nenarokov A.V. *Inverse problems in the study of complex heat transfer*. Moscow, Yanus-K Publ., 2009; 299. EDN QMKSUN. (rus.).

8. Samarin O.D., Yatsyna V.A. Research of the dependence of the thermal efficiency of the plate heat exchanger from the ventilation unit size. *Plumbing, Heating, Air-Conditioning*. 2021; 2(230):71-73. EDN NDMEZG. (rus.).

9. Vdovichev A.A. To the question of determining the temperature efficiency of plate cross-flow air recuperators. *Bulletin of the Eurasian Science*. 2022; 14(5). EDN YXXUEV. (rus.).
10. Belonogov N.V. Heat recovery in cross-flow plate recuperators. *Plumbing, Heating, Air-Conditioning*. 2012; 2(122):75-83. EDN RHWLYL. (rus.).
11. Borowski M., Karch M., Kleszcz S., Sala P., Waryan G. An experimental and numerical investigation of the thermal and non-thermal efficiency for counter-flow heat exchanger. *E3S Web of Conferences*. 2019; 128:04008. DOI: 10.1051/e3sconf/201912804008
12. Kleszcz S., Jaszczur M., Pawela B. An analysis of the periodic counterflow heat exchanger for air-to-air heat recovery ventilators. *Energy Reports*. 2023; 9:77-85. DOI: 10.1016/j.egy.2023.03.088
13. Golijanek-Jędrzejczyk A., Mrowiec A., Kleszcz S., Hanus R., Zych M., Jaszczur M. A numerical and experimental analysis of multi-hole orifice in turbulent flow. *Measurement*. 2022; 193:110910. DOI: 10.1016/j.measurement.2022.110910
14. Chompookham T., Chingtuaythong W., Chokphoemphun S. Influence of a novel serrated wire coil insert on thermal characteristics and air flow behavior in a tubular heat exchanger. *International Journal of Thermal Sciences*. 2022; 171:107184. DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2021.107184
15. Lamlerd B., Bubphachot B., Chompookham T. Experimental investigation of heat transfer characteristics of steam generator with circular-ring turbulators. *Case Studies in Thermal Engineering*. 2023; 41:102549. DOI: 10.1016/j.csite.2022.102549
16. Belonogov N.V., Pronin V.A. Optimization of geometric parameters of cross-flow plate recuperators. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2008; 1:21-23. EDN JXORYH. (rus.).
17. Rutkivskiy A.L., Makoeva A.K., Korobkin R.S. Research into cathodic processes in the electrolysis of alkaline lead solutions. *Science and Business: Ways of Development*. 2021; 1(115):30-33. EDN EJDJJJ. (rus.).
18. Safronov K.L. Analytical review of supply and exhaust ventilation with recuperation. *International Student Scientific Bulletin*. 2018; 6:100. EDN YRRQKL. (rus.).
19. Vdovichev A.A. Numerical study of heat transfer and aerodynamics in an open-type cross-flow heat exchanger. *The Eurasian Scientific Journal*. 2022; 14(2). (rus.).
20. Demidochkin V.V., Kostuganov A.B., Cherchayev A.A. Determination of heat technical efficiency of laminated heat recover. *Bulletin of the Orenburg State University*. 2018; 6(218):123-131. DOI: 10.25198/1814-6457-218-123. EDN HNFKOY. (rus.).
21. Vdovichev A.A. Features of numerical simulation of a plate cross-precision air recuperator. *The Eurasian Scientific Journal*. 2021; 5. (rus.).
22. Karapuzova N.Yu., Fokin V.M. *Calculation of heat exchangers : guidelines for course and diploma design*. Volgograd, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering, 2013; 67. EDN WABVMN. (rus.).
23. Krasnoshchekov E.A. *Taskbook on heat transfer : textbook manual for universities*. Moscow, Energiya, 1980; 288. (rus.).
24. Bulygin Yu.A. *Heat exchangers in the oil and gas industry: course design : textbook*. Voronezh, Voronezh State Technical University, 2015; 100. (rus.).
25. Halawa E., van Hoof J. The adaptive approach to thermal comfort : A critical overview. *Energy and Buildings*. 2012; 51:101-110. DOI: 10.1016/j.enbuild.2012.04.011
26. Vlasenko O.M., Sorokin A.S., Abdulayev S.Kh. Ventilation heating during automation of industrial buildings of light industry. *Design and technologies*. 2015; 50(92):70-77. EDN VXL CNT. (rus.).
27. Pachkin S.G., Kotlyarov R.V., Shevtsova T.G., Ivanov P.P., Li S.R., Presnova A.S. Development of an automated control system for plenum exhaust ventilation. *Modern High Technologies*. 2022; 1:80-84. DOI: 10.17513/snt.39013. EDN CYMYBL. (rus.).

Received April 21, 2023.

Adopted in revised form on April 26, 2023.

Approved for publication on June 23, 2023.

BIONOTES: **Dmitrii O. Khlopitsyn** — postgraduate student; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 1107240, Scopus: 57224204063, ORCID: 0009-0003-4988-3385; dkhlopitsyn@mail.ru;

Andrey G. Rymarov — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 665928, Scopus: 7801333552, ResearcherID: AFM-6219-2022, ORCID: 0000-0002-1901-1557; rymarov@yandex.ru.

Contribution of the authors:

Dmitrii O. Khlopitsyn — idea, collection of material, processing of material, writing an article.

Andrey G. Rymarov — scientific guidance, scientific text editing, research concept.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Применение электрических котлов для водяного поквартирного теплоснабжения

Алексей Леонидович Торопов

Инженерный центр «Апрель» (ИЦ «Апрель»); г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Под поквартирным теплоснабжением (ПТ) понимается обеспечение теплом систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения квартир. В настоящее время в качестве теплогенераторов для ПТ применяются настенные конвекционные газовые котлы. Дано сравнение энергетических, экологических, экономических показателей автономной системы теплоснабжения при замене газовых теплогенераторов на электрические. Рассмотрены вопросы безопасности работы оборудования и затраты на сервисное обслуживание. Предложены конструктивные и архитектурные решения размещения оборудования.

Материалы и методы. Используются официальные данные Росстата РФ, доклады министерства энергетики, министерства экономического развития, действующие ГОСТы и нормативные документы расчета теплотерь через ограждающие конструкции. Расчеты проводились методами математического моделирования.

Результаты. Суммарная мощность потребления электрической энергии квартирного домохозяйства, включая электрическое теплоснабжение, не превышает 15 кВт·ч. Вопрос пикового кратковременного превышения выделенной мощности и срабатывания устройств автоматического отключения электрического питания домохозяйства решается установкой приоритетного распределения выделенной мощности. Углеродоемкость производства тепловой мощности электрическими котлами не превышает общую среднюю эмиссию CO₂ теплогенераторами на углеводородном топливе. При использовании тарифов на электроэнергию для домов с электроплитами суммарные затраты на теплоснабжение электродкотлами не превышают нормативов оплаты централизованного теплоснабжения многоквартирных домов. Исключены взрывы и отравление газом.

Выводы. Автономное электрическое теплоснабжение квартирных домохозяйств имеет ряд преимуществ по сравнению с поквартирным теплоснабжением на основе газовых теплогенераторов и централизованным теплоснабжением с котельными на газовом, угольном и жидком топливе. В связи с тем, что тарифы на электроэнергию, централизованное теплоснабжение, снабжение газом в регионах РФ изменяются многократно, климатические и экологические условия разные, целесообразно сделать расчет эффективности применения электрического теплоснабжения отдельно для каждого субъекта РФ.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: поквартирное теплоснабжение, электрический котел, углеродоемкость, углеродный след, центральное отопление, автономное теплоснабжение, тепловой узел

Благодарности. Автор благодарит рецензентов за замечания по стилю изложения и научно-технической сути, способствующие более глубокому раскрытию темы научной работы.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Торопов А.Л. Применение электрических котлов для водяного поквартирного теплоснабжения // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. Вып. 9. С. 1451–1465. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.9.1451-1465

Автор, ответственный за переписку: Алексей Леонидович Торопов, toropov@aprilgroup.ru.

Application of electric boilers for water apartment heat supply

Alexey L. Toropov

Engineering Center “April”; Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Apartment heat supply refers to the provision of heat to the heating, ventilation and hot water supply systems of apartments. At the present time, wall convection gas boilers are used as heat generators for apartment heat supply. Comparison of energy, ecological, economic indicators of autonomous heat supply system when replacing gas heat generators with electric ones is given. The issues of equipment safety and costs of service maintenance are considered. Constructive and architectural solutions of equipment placement are proposed.

Materials and methods. Official data of Rosstat of the Russian Federation, reports of the Ministry of Energy, the Ministry of Economic Development, current GOSTs and regulatory documents for calculation of heat loss through enclosing structures are used. Calculations were carried out by methods of mathematical modelling.

Results. The total power consumption capacity of an apartment household, including electric heat supply, does not exceed 15 kWh. The issue of peak short-term exceeding of the allocated power and the operation of devices for automatic shutdown of household electrical power is solved by setting priority distribution of the allocated power. The carbon intensity of heat power production by electric boilers does not exceed the total average CO₂ emission of hydrocarbon fuel heat generators. When using electricity tariffs for houses with electric stoves, the total cost of heat supply by electric boilers does not exceed

the standards of payment for district heating of multi-storey buildings. Explosions and gas poisoning are excluded.

Conclusions. Autonomous electric heat supply of apartment households has a number of advantages in comparison with apartment heating based on gas heat generators and centralized heating with boilers on gas, coal and liquid fuel. Due to the fact that tariffs for electricity, district heating, gas supply in the regions of the Russian Federation change many times, climatic and environmental conditions are different, it is advisable to calculate the efficiency of the use of electric heat supply separately for each subject of the Russian Federation.

KEYWORDS: apartment heat supply, electric boiler, carbon intensity, carbon footprint, central heating, autonomous heat supply, heating unit

Acknowledgements. The author thanks the reviewers for their comments, both in terms of the style of presentation and the scientific and technical essence, which contribute to a deeper disclosure of the topic of scientific work.

FOR CITATION: Toropov A.L. Application of electric boilers for water apartment heat supply. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2023; 18(9):1451-1465. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.9.1451-1465 (rus.).

Corresponding author: Alexey L. Toropov, toropov@aprilgroup.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Теплоснабжение помещений электрической энергией с непосредственной трансформацией ее в тепловую энергию до последнего времени не приветствовалось действующей нормативной базой в связи с низким коэффициентом полезного действия (КПД) ее первичного использования. Считается, что отопление электричеством — самый дорогой способ поддержания температуры в помещении. Фактически указанные выше заявления являлись категорическим императивом — безусловным принципом проектирования систем теплоснабжения многоквартирных, многоэтажных домов. Рассмотрим насколько безусловно применение электрического водяного котла в системах поквартирного теплоснабжения (ПТ). Под поквартирным теплоснабжением понимается обеспечение теплом систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения квартир. Система состоит из источника теплоснабжения — теплогенератора, трубопроводов горячего водоснабжения с водоразборной арматурой, трубопроводов отопления с отопительными приборами внутри квартиры¹ [1]. В общем случае рассматриваются энергетические, экологические и экономические требования, безопасность эксплуатации, стоимость обслуживания с точки зрения конечного потребителя.

Первое требование — положительный баланс между выделяемой нормой электрической энергии на квартиру и суммарным потреблением электрической энергии всеми электрическими приборами, включая энергию на отопление и подготовку горячей воды. В качестве предельной нормы потребления электроэнергии квартиры обозначим 15 кВт·ч (360 кВт·ч/сут), поскольку данное значение определено как максимальное, не требующее разрешений на установку электрического теплового генератора. Достаточно обеспечить отдельный кабельный ввод для его питания². Согласно данным Росстата, в Россий-

ской Федерации в 2021 г. эксплуатировалось 70,2 млн квартир. В данное количество входят не только квартиры жилого фонда, но и квартиры нежилых помещений, общежитий, гостиниц, апартаменты³. Средний размер общей площади всех эксплуатируемых квартир в 2021 г. составил 56,9 м², средняя площадь квартир, построенных после 2021 г. в многоквартирных домах, — 51,5 м² и последние годы постоянно уменьшается⁴ [2]. Для расчета потребления горячей воды квартирным домохозяйством примем норму потребления горячей воды в день 150 л на чел. и среднее количество проживающих в городском домохозяйстве 2,1 чел. [3–5]. При этих условиях потребление электрической энергии для нагрева горячей воды на квартиру до температуры 55 °С составит 14,7 кВт·ч/сут (вариант использования накопительного водонагревателя). Потребление электрической энергии домохозяйством носит иерархический характер, базирующийся на обеспечении социальных и физиологических потребностей человека и технических характеристиках помещений, бытовых устройств и системы теплоснабжения. Иерархия в виде пирамиды распределения выделенной энергии представлена в работах [6, 7].

Второе требование — минимизация экологического воздействия на атмосферу Земли. Считается, что электрическое теплоснабжение домовладений имеет более высокий углеродный след, чем при отоплении с применением углеводородных тепловых генераторов. Это заявление базируется на низком КПД преобразования первичной энергии в электрическую, который принимают равным 30–35 % [8]. Структура потребления первичной энергии в каждой стране формируется ее историко-технологическим развитием. По данным на 2018 г. в РФ доля газа составляет 60 %, угля — 16 %, нефтепродуктов — 13 %, ядерного топлива — 8 %, гидроэнергии — 3 %, всех видов возобновляемых

¹ СП 41-108-2004. Поквартирное теплоснабжение жилых зданий с теплогенераторами на газовом топливе. М. : ФГУП ЦПП, 2004. 15 с.

² О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам совершенствования порядка технологического присоединения потребителей к электрическим сетям : Постановление Правительства РФ от 21.04.2009 № 334 // Российская газета. 26 мая 2009.

³ Федеральная служба государственной статистики. Жилищные условия. URL: https://rosstat.gov.ru/statistics/zhilishhnye_usloviya

⁴ Федеральная служба государственной статистики. Жилищное хозяйство в России 2022. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Jil_hoz_2022.pdf

источников энергии — 0,03 %⁵. В качестве критерия для сравнения эмиссии CO₂ при выработке 1 кВт тепловой энергии электрическим теплогенератором возьмем количество выбросов CO₂ на 1 кВт тепла, полученного при сжигании природного газа, равное 197 г [9, 10]. Данные по эмиссии парниковых газов при выработке 1 кВт электроэнергии в каждой стране разные. Этот показатель зависит от вида топлива, использованного для получения электрической энергии. По информации Международного энергетического агентства (МЭА), генерация в мире с 2010 по 2018 гг. выросла на 23,8 %, до 27,7 трлн кВт·ч, а углеродоемкость за этот же период снизилась на 10,4 %, до 475 г CO₂/кВт·ч⁶. В период с 2010 по 2016 гг. углеродоемкость российской электроэнергии сократилась на 59,5 г CO₂/кВт·ч до 358 г CO₂/кВт·ч (–9 %), что эквивалентно снижению выбросов CO₂ в электроэнергетике за указанный период на 42,7 млн т (–10 %) при увеличении ее выработки на 51 млрд кВт·ч (+5 %) [11]. В составе выбросов преобладает CO₂, на него в 2018 г. приходилось 85,7 % всех выбросов по сектору. Вклады CH₄ и N₂O составили 14,0 и 0,3 % соответственно [12]. Согласно данным, представленным в работе⁷, в 2021 г. общая годовая выработка 1 кВт·ч электроэнергии в США электростанциями коммунального масштаба происходила при выбросе CO₂, равном 388 г на кВт·ч. В Китае — 635 г CO₂/кВт·ч, в Индии — 730 г CO₂/кВт·ч.

Для сравнения экономических затрат на отопление рассмотрим тарифы на отопление и электроэнергию. По сведениям Федеральной службы государственной статистики по регионам России с 1 декабря 2022 г. тарифы на тепловую энергию составили от 1261,38 до 3719,23 руб/Гкал. В среднем по РФ тариф на тепловую энергию — 2429,74 руб/Гкал⁸. Наибольшие тарифы на тепловую энергию установлены в следующих регионах Дальневосточного, Сибирского и Северо-Западного округов: Камчатский край — 3719,23 руб/Гкал, Еврейская автономная область — 3482,62 руб/Гкал, Республика Алтай — 3447,96 руб/Гкал, Мурман-

ская область — 3435,13 руб/Гкал. Наименьшие тарифы действуют на территории регионов Северо-Кавказского и Сибирского округов: Республика Ингушетия — 1261,38 руб/Гкал, Кемеровская область — 1431,98 руб/Гкал, Республика Дагестан — 1544,16 руб/Гкал, Иркутская область — 1552,61 руб/Гкал. Средняя стоимость кубометра горячей воды составляет 186,04 руб. Среднестатистическая норма на одного человека по потреблению горячей воды в России — 166 л/сут⁹. В среднем норматив потребления Гкал на 1 м² при расчете оплаты отопления равняется 0,0342 Гкал/мес. Данное значение может меняться в различных регионах, так как зависит от климатических условий¹⁰. Газ используется как вид углеводородного топлива, для систем теплоснабжения индивидуальных домов, поквартирного теплоснабжения многоэтажных многоквартирных домов, котельных систем теплоснабжения. Вопросы безопасности и надежности эксплуатации газового оборудования жилых зданий рассмотрены в трудах [13–16]. Аварийные ситуации, связанные с эксплуатацией внутридомового и внутриквартирного газового оборудования, приводят к жертвам среди населения — 80 % погибают от отравления, 20 % при взрывах газозудной смеси, вызывающих разрушения зданий. Централизованное теплоснабжение многоквартирных домов исключает возможность возникновения жертв, связанных с эксплуатацией газовых внутридомовых сетей и оборудования, из-за их отсутствия. При данном типе теплоснабжения возможны аварии в сетях газораспределения и тепловых сетях теплоснабжения, связанные с износом коммунальных сетей (тепловых — 62,8 %, водопроводных — 64,8 %). В некоторых муниципальных образованиях износ коммунальных сетей составляет 95 %, потери коммунальных ресурсов до 40 % воды, 50 % тепла в зависимости от населенного пункта [17–20].

Цель исследования — определить возможности использования электрических тепловых генераторов в системах теплоснабжения городских домохозяйств или индивидуальных домов аналогичной площади с точки зрения их сравнения с теплогенераторами на углеводородном топливе и централизованным теплоснабжением тепловой электростанции (ТЭС); выполнить сравнение по энергетическим, экологическим, экономическим требованиям, безопасности эксплуатации, стоимости обслуживания; предложить схемы автономных индивидуальных и коллективных тепловых узлов, архитектурно-планировочных решений их размещения.

⁹ Норматив потребления воды в 2023 году на 1 человека без счетчика. URL: <https://domstrousam.ru/!-normativ-potrebleniya-vody/>

¹⁰ Расход тепла на отопление 1 кв м. URL: <https://teplosten24.ru/rashod-tepla-na-otoplenie-1-kv-m.html>

⁵ Государственный доклад о состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации за 2020 год // Министерство экономического развития Российской Федерации. М., 2020. URL: <https://www.economy.gov.ru/material/file/c3901dba442f8e361d68bc019d7ee83f/Energyefficiency2020.pdf>

⁶ IEA 2022. World Energy Outlook 2022. License: CC BY 4.0 (report); CC BY NC SA 4.0 (Annex A). IEA, Paris. URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>

⁷ How much carbon dioxide is produced per kilowatthour of U.S. electricity generation? // U.S. Energy Information Administration. URL: <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=74&t=11>

⁸ Тарифы на тепловую энергию в 2023 году. URL: <https://p4energy.ru/2023/03/ts2022-2/>

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Используются официальные данные Росстата РФ, доклады министерства энергетики, министерства экономического развития, действующие ГОСТы и нормативные документы расчета теплопотерь через ограждающие конструкции. В качестве примера для анализа взята двухкомнатная квартира с кухней, площадью 46 м² в восьмиэтажном кирпичном доме в г. Санкт-Петербурге [21] при температуре атмосферы –24 °С, температуре в квартире +20 °С. Расчеты проводились методами математического моделирования. Площадь и параметры теплоизоляции ограждающей конструкции рассматриваемого примера близки к среднестатистическим квартирам.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для указанной выше квартиры площадью 46 м² при проживании 4-х человек, температуре атмосферы –24 °С, температуре в квартире +20 °С суммарные тепловые потери составляют 2415 Вт, потери за счет инфильтрации воздуха — 457 Вт. Теплоотдача от бытовых приборов — 487 Вт, от людей — 90 Вт. Общая тепловая потребность квартиры составит величину: $Q_{\text{пот}} = 2415 + 457 - 487 - 90 = 2295 \text{ Вт}$. Рассчитанная тепловая потребность для отопления квартиры определена для температуры –24 °С, что соответствует температуре самой холодной пятидневки для места расположения квартиры (г. Санкт-Петербург) согласно СНиП 23.01–99*¹¹. Из архива климатических данных по Санкт-Петербургу¹² следует, что для города самым холодным месяцем является январь со сред-

ней минимальной температурой –6,2 °С, а средняя минимальная температура наружного воздуха отопительного сезона составляет –2,2 °С. Расчет, выполненный по существующим методикам и государственным стандартам, показывает, что тепловая потребность квартиры на отопление не превышает 2,3 кВт·ч (55,2 кВт·ч/сут) при экстремально низких температурах и 1,15 кВт·ч (27,6 кВт·ч/сут) при средних температурах отопительного периода, что составляет 1200 и 600 Вт/м² в сутки соответственно. Для средней площади квартир 51,5 м² максимальное суточное потребление электрической энергии на отопление составит 61,8 кВт.

Энергетическое сравнение

Распределение потребления электрической энергии домохозяйством носит иерархический характер. Структура потребления в виде пирамиды потребностей представлена на рис. 1. Верхний уровень — безотлагательные потребности, без которых в современном мире невозможно существование. Это: освещение, безопасность и защищенность, необходимость обмена информацией.

Второй верхний уровень пирамиды относится к приборам для обеспечения физиологических и социальных потребностей человека — мелкая бытовая техника. Третий уровень пирамиды потребления электрической энергии — крупная бытовая техника. Четвертый и пятый уровни пирамиды потребления электрической энергии домохозяйства связаны с системами теплоснабжения и понятием тепловой инерционности зданий. Шестой уровень — приборы низшего приоритета, обеспечиваются энергией по остаточному принципу. Общее суточное потребление энергии составляет 65–200 кВт/сут при выделенной лимитированной электрической мощности 360 кВт. В таблице представлена информация по суммарным среднесуточным потребностям элек-

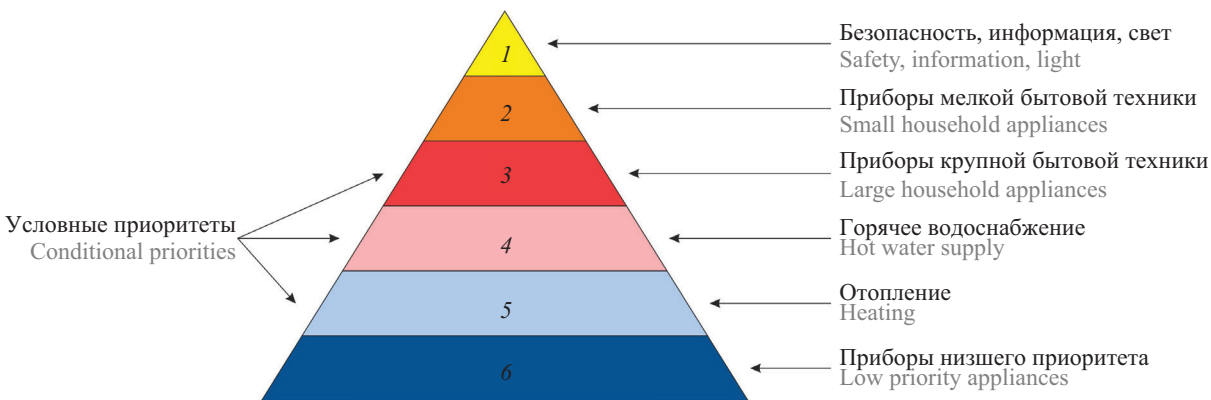


Рис. 1. Структура уровней распределения электрической энергии: 1 — безопасность, информация, свет (10 кВт/сут); 2 — приборы мелкой бытовой техники (12 кВт/сут); 3 — приборы крупной бытовой техники (70 кВт/сут); 4 — горячее водоснабжение (7–35 кВт/сут); 5 — отопление (45–100 кВт/сут); 6 — приборы низшего приоритета (остаточный принцип)

Fig. 1. Structure of electricity distribution levels: 1 — safety, information, light (10 kW/day); 2 — small household appliances (12 kW/day); 3 — large household appliances (70 kW/day); 4 — hot water supply (7–35 kW/day); 5 — heating (45–100 kW/day); 6 — low priority appliances (residual principle)

Среднесуточное потребление электрической энергии квартирным домовладением с учетом теплоснабжения при минимальных температурах атмосферы

Average daily electricity consumption by flat block including heat supply at minimum atmospheric temperatures

Количество комнат Number of rooms	1	2	3	4 и более / 4 or more
Средний размер, м ² Average size, m ²	36,7	50,0	67,8	112,0
Доля в жилом фонде, % Share in housing stock, %	18,0	26,7	19,4	5,8
Количество жителей в домовладении Number of residents in the household	1	2	4	5
Среднесуточное потребление энергии, кВт Average daily energy consumption, kW	75	105	145	200

трической энергии в зимний период времени года для квартир с разным количеством комнат и жителей. Данные соответствуют минимальным температурам. Статистические сведения по долям квартир в РФ на 2021 г. заимствованы из отчета Росстата.

На основании указанного выше требование положительного баланса выделенной электрической мощности и суммарной мощности потребления энергии квартирного домохозяйства при электрическом теплоснабжении выполняется даже при четырехкомнатном домохозяйстве. Вопрос пикового кратковременного превышения выделенной мощности и срабатывания устройств автоматического отключения электрического питания домохозяйства решается установкой приоритетного распределения выделенной мощности [6].

Экологическое сравнение

Преобразование электрической энергии в тепловую во всем диапазоне потребления энергии происходит со средним КПД, равным 98 % [22, 23]. Соответственно, для РФ на основании данных баланса производства электрической энергии 2019 г. при использовании электрических котлов для генерации тепловой мощности в автономных системах теплоснабжения углеродоемкость производства 1 кВт·ч тепловой энергии составит 365 г CO₂. В многоэтажных домах применяют поквартирное теплоснабжение с использованием настенных газовых котлов [24–30], централизованное и децентрализованное теплоснабжение с источниками тепловой энергии от ТЭЦ и котельных. При ПТ применяются конвекционные настенные газовые котлы. Энергоэффективность настенных конвекционных котлов при номинальной нагрузке составляет 80–82 % по высшей теплотворной способности (GCV), соответственно, преобразование энергии сгорания природного газа в тепловую энергию, передаваемую отопительным приборам, происходит с выделением 250 г CO₂/кВт·ч. При расчете углеродоемкости производства 1 кВт·ч тепловой энергии для ПТ при работе газового котла в цикличном режиме, характерного для работы при избыточной мощности в режиме отопления, энергоэффективность газового котла снижается до 60 %

GCV, что приводит к увеличению выбросов до 328 г CO₂/кВт·ч. Это незначительно ниже эмиссии CO₂ при генерации тепла электрическими теплогенераторами. При анализе эмиссии CO₂ газовых котлов, используемых в многоквартирных многоэтажных домах, необходимо рассматривать весь жизненный цикл оборудования и систем. Использование газовых котлов в каждой квартире требует обустройства многоэтажных домов системами дымоудаления, подвода воздуха для обеспечения режимов горения, внутренних и внешних трубопроводов снабжения котлов природным газом, которые в системах с электрической генерацией тепла отсутствуют. С учетом эмиссии CO₂ при производстве материалов указанных систем, их установке и эксплуатации можно заявить о паритете энологического воздействия на атмосферу Земли при рассмотрении автономного поквартирного теплоснабжения многоэтажных многоквартирных домов при применении газовых настенных и электрических теплогенераторов. При анализе углеродоемкости централизованного теплоснабжения (ЦТ) многоэтажных домов с использованием котельных в качестве источника тепла необходимо учитывать, что большинство котельных работает на газе (в 2020 г. их доля составила почти 63 %), преимущественно котельные мощностью свыше 20 Гкал/ч. Доля котельных, работающих на твердом топливе (угле), — 29,8 %. Доля котельных на жидком топливе и дровах и прочем топливе — 2,6 и 4,9 % соответственно. В общей структуре тепловой мощности доля ТЭС составляет 31 %, а доля котельных — 69 %¹³. По газу соотношение объемов выбросов CO₂ и количества энергии, потребленной за год, по данным МЭА, составляет 400 г CO₂/кВт·ч, по нефти — 600 г CO₂/кВт·ч, углю в зависимости его от типа — 845–1020 г CO₂/кВт·ч. Соответственно, выработка тепловой энергии районными котельными сопровождается эмиссией CO₂ выше, чем эмиссия CO₂ при выработке тепловой

¹³ Доклад о состоянии теплоэнергетики и централизованного теплоснабжения в Российской Федерации в 2020 году // Министерство энергетики РФ. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/22832>

энергии электрической теплогенерацией. В связи с тем, что доля котельных в структуре тепловой мощности централизованного теплоснабжения постоянно растет, можно сделать вывод, что в случае перехода на электрическую генерацию тепловой мощности при поквартирном теплоснабжении многоэтажных домов углеродоемкость производства тепловой энергии в целом по стране не увеличится. При замене котельных центрального отопления многоэтажных домов, работающих на угле, на электрическую тепловую генерацию углеродоемкость эмиссии CO₂ снижается до двух-трех раз.

Сравнение экономических показателей

При пересчете на среднюю площадь квартирного домохозяйства 56,9 м² и количество проживающих 2,1 чел. из среднего показателя оплаты отопления 0,0342 Гкал/м² в месяц получается, что на отопление в среднем тратится 1,946 Гкал. На снабжение горячей водой, исходя из средней стоимости кубометра горячей воды 186,04 руб. на чел., средней нормы потребления горячей воды 166 л/сут, затраты составляют на домохозяйство 930 руб./мес. Средняя стоимость однотарифной электроэнергии для населения по РФ составляет 4 руб./кВт, причем самый низкий тариф в Иркутской области — 1,23 руб./кВт, а самый высокий в Чукотском автономном округе — 8,82 руб./кВт^{14, 15}. Тарифы для сельской местности и ночные тарифы значительно ниже. Если рассматривать средний тариф для городов по РФ, то стоимость отопления среднего квартирного домохозяйства составляет с централизованным теплоснабжением 4728 руб., ГВС — 930 руб., в сумме — 5658 руб./мес. При поквартирном теплоснабжении с использованием настенного газового котла расчет затрат на отопление и горячую воду основан на стоимости газа, КПД газового котла и теплотворной способности газа. Средняя потребительская стоимость сетевого газа по России — 6,27 руб. за кубический метр¹⁶, КПД настенного газового котла 80 % GCV для ГВС и 60 % GCV при отоплении, 1 м³ природного газа выделяет при сгорании 10 кВт тепловой энергии. С учетом указанных показателей среднее квартирное домохозяйство в месяц отопительного периода потребляет на отопление в среднем 1940 руб. и 385 руб. на ГВС, в сумме — 2325 руб.

При использовании электрического теплоснабжения, при стоимости 4 руб./кВт затраты аналогичного квартирного домохозяйства составляют

5688 руб./мес на отопление и 1766 руб. на ГВС, в сумме на теплоснабжение расходуется 7454 руб. Соотношение затрат на оплату услуг по теплоснабжению в пользу существующего ЦТ в 1,32 раза (на 32 % дешевле). По отношению к поквартирному теплоснабжению с применением настенных газовых котлов электрическое теплоснабжение дороже в 3,25 раза. Но эксплуатационные затраты на сервис настенных газовых котлов целиком перекладываются на конечного потребителя. А также сервисный договор на обслуживание для соблюдения гарантийных обязательств завода-изготовителя и вопросы ремонта и стоимости запасных частей. При распространении тарифов на электрическое теплоснабжение на тарифы для домов с электроплитами (все многоквартирные дома новой постройки имеют электрические плиты) или к сельской местности указанные значения затрат на электрическое теплоснабжение снижаются в среднем до 3412 руб. за отопление, 1059 руб. за ГВС, в сумме — до 4472 руб. В этом случае стоимость электрического теплоснабжения дороже в 1,92 раза по отношению к настенным газовым котлам, но на 21 % ниже ЦТ. Без учета затрат на сервис. Необходимо отметить, что данные соотношения представлены для средних по стране значений. При сравнении электрического индивидуального и централизованного или газового поквартирного теплоснабжения для разных субъектов РФ результаты могут быть противоположными. При тарифе за электроэнергию 1,23 руб./кВт для Иркутской области стоимость электрического теплоснабжения составит около 2500 руб./мес, а поквартирного теплоснабжения при использовании настенных газовых котлов около 3000 руб./мес. Электрическое теплоснабжение получается дешевле и газового поквартирного, и централизованного.

Безопасность эксплуатации и затраты на сервисное обслуживание

Коммунальные сети теплоснабжения при электрическом поквартирном теплоснабжении отсутствуют, соответственно, отсутствуют вопросы аварий, жертв и разрушений. В связи с тем, что норма выделенной электрической энергии на квартирное домовладение, равная 15 кВт, не превышена, то вопрос дополнительных рисков, связанных с потреблением электрической энергии и состоянием электрических коммунальных сетей, не рассматривается. В случае необходимости дополнительного выделения электрической мощности на многоквартирное здание при решении о переходе на электрическое теплоснабжение при реконструкции старых зданий и коммунальных сетей затраты на реконструкцию электроснабжения значительно ниже затрат на теплоснабжение. Дополнительных затрат на сервисное обслуживание коммунальных электрических сетей при переходе на электрическое теплоснабжение нет. Вопрос возникновения пожаров, возникших именно от неисправности проводки

¹⁴ Тарифы на электроэнергию на 2023 год. URL: <https://energoseti.ru/rates>

¹⁵ Сколько стоит электроэнергия в 2023 году: тарифы на свет, повышение цен. URL: <https://skolko-stoit.ru/skolko-stoit-elektroenergiya/>

¹⁶ Тарифы на газ для населения с 1 декабря 2022 года. Все категории потребителей, оплата по счетчику и по нормативу. URL: <https://energovopros.ru/issledovaniya/2335/3079/43136/>

питания электрических котлов, не рассматривается, поскольку не превышает норму 15 кВт выделенной электроэнергии на квартирное домохозяйство. Затраты на сервис и стоимость запасных частей автономных систем теплоснабжения целиком перекладываются на конечного покупателя. Наибольшие затраты в варианте ПТ с настенными газовыми котлами. Есть затраты на сервис внутридомовых и внутриквартирных газовых сетей, систем дымоудаления и подачи воздуха, сервисное обслуживание и ремонт теплового агрегата и деталей контура циркуляции теплоносителя [31–34]. Срок службы настенных газовых котлов последние годы снижается и составляет около семи лет. Замена котельного оборудования также перекладывается на конечного пользователя. Суммы годового сервисного договора на обслуживание газовых котлов ПТ составляют не менее 15 % от средней суммы оплаты тарифов за год. При расчете суммарных затрат на ПТ следует учитывать затраты на сервис, ремонт и замену оборудования после окончания срока эксплуатации. Все затраты на перечисленные составляющие у ПТ с настенными газовыми котлами составляют около 30 % от стоимости оплаты газа для теплоснабжения. Соответственно, экономическая выгода варианта ПТ с настенными газовыми котлами снижается на 30 %. Эксплуатация ПТ с электрическим теплоснабжением также перекладывается на конечного пользова-

теля, но от него не требуются внутренние домовые газовые сети и системы дымоудаления и подвода воздуха. Срок службы электрического котла выше газового, и сервисные работы дешевле.

Результаты сравнительного анализа в обобщенном виде можно представить в виде круговой диаграммы. По каждому рассматриваемому параметру значения указаны в относительных единицах к наибольшему значению. В диаграмме представлены относительные значения энергетики, экологии, экономики, безопасности, затрат на обслуживание для поквартирного теплоснабжения с использованием газового настенного котла, ПТ с применением электрического котла, ЦТ с использованием котельных на газовом топливе, ЦТ с применением котельных на угле, ЦТ с использованием ТЭС. Комплексная диаграмма позволяет оценить совокупность рассматриваемых параметров. Вид сравнительной диаграммы эффективности вариантов теплоснабжения квартирных домохозяйств представлен на рис. 2. Для визуализации принято, что энергетически обеспечены все рассматриваемые варианты, показатель равен единице.

Наибольший вред окружающей среде наносит вариант с централизованным отоплением с использованием котельных на угольном топливе. У этого варианта системы теплоснабжения показатель экологии равен единице. Остальные варианты представлены в сравнении с угольными котельными.

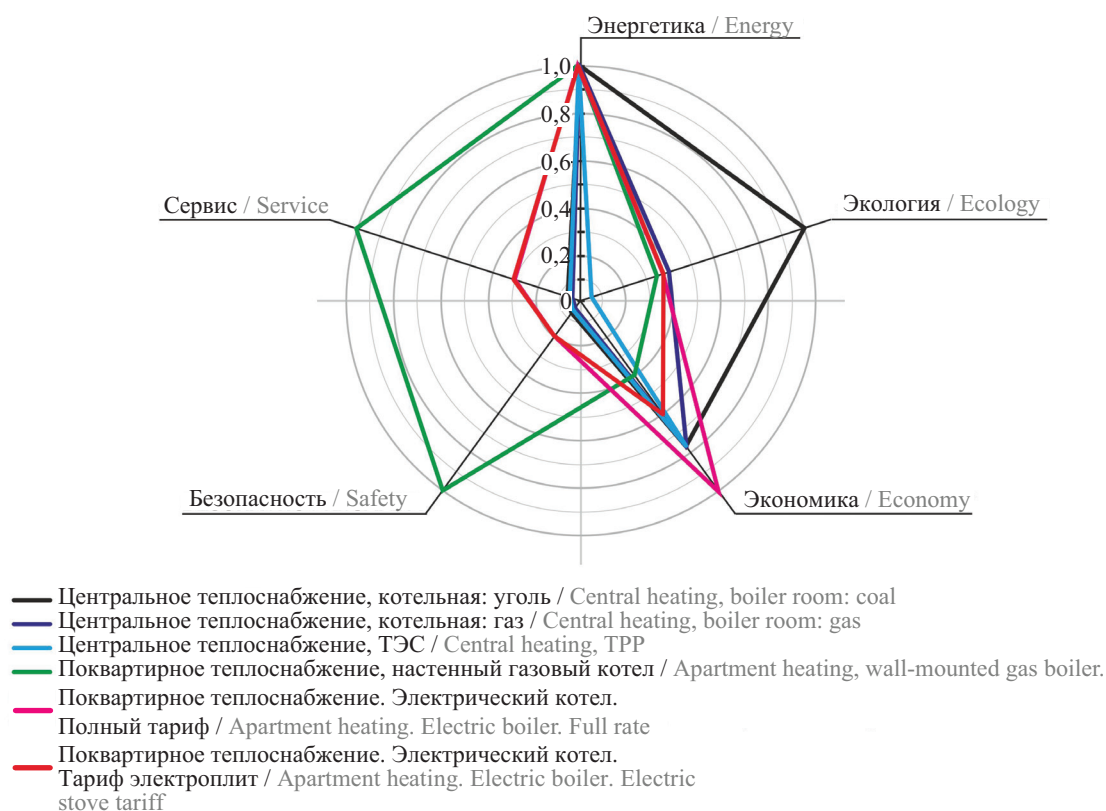


Рис. 2. Сводная диаграмма эффективности вариантов теплоснабжения квартирных домохозяйств

Fig. 2. Summary diagram of the efficiency of heat supply options for apartment households

ми газовыми водонагревателями. Затраты на сервис обслуживания ЦТ, связанные с аварийным состоянием старых систем теплоснабжения и котельных, средний возраст которых составляет 35 лет [35–40], не относятся к затратам конечного пользователя.

Предлагаются системные решения двух типов:

- автономное индивидуальное электрическое водяное поквартирное теплоснабжение с тепловым электрическим генератором для каждого потребителя;
- автономное коллективное электрическое теплоснабжение с тепловым электрическим генератором на несколько квартир с установкой тепловых счетчиков для каждой квартиры.

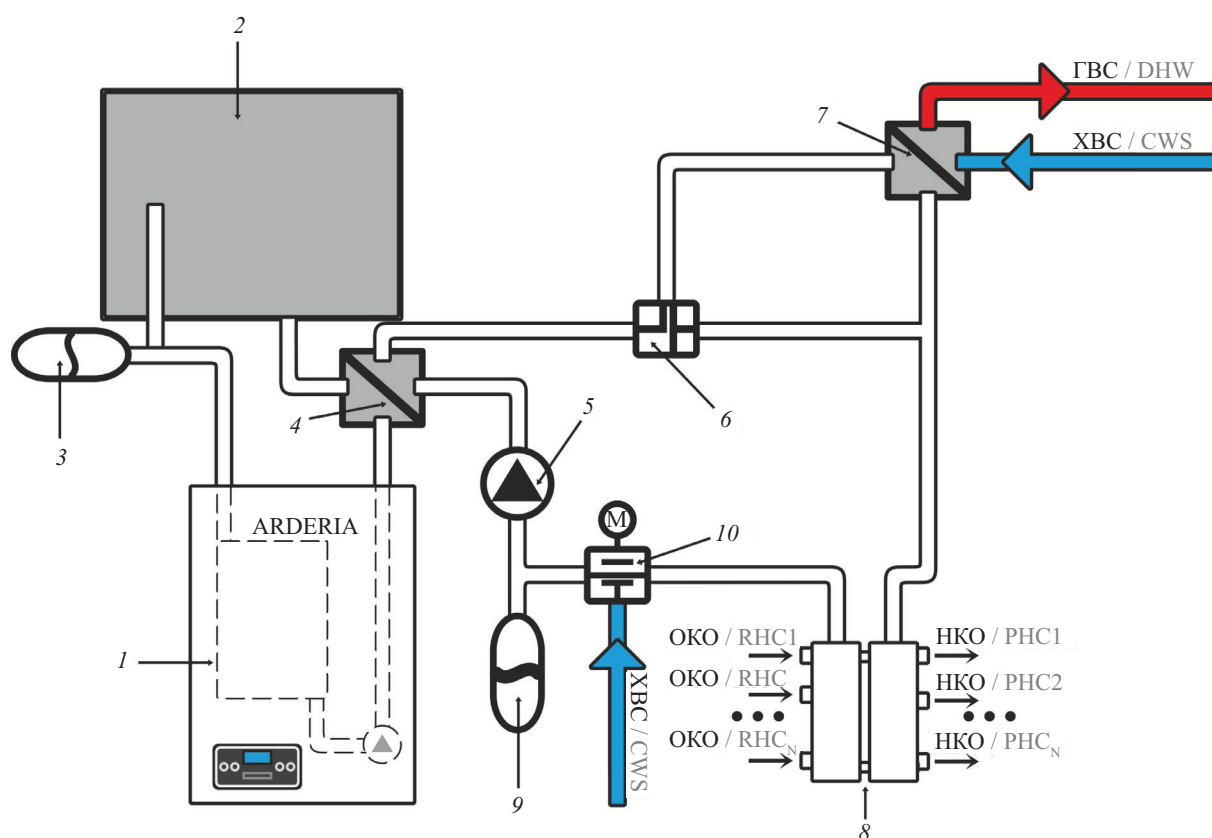


Рис. 3. Гидравлическая схема индивидуального теплового узла квартиры: 1 — электрический котел с встроенным циркуляционным насосом контура генерации тепловой энергии, 9 кВт/ч для 1–2-комнатных квартир, 12 кВт/ч для 3–4-комнатных квартир; 2 — тепловой аккумулятор объемом 150 л для 1–2-комнатных квартир, 200 л для 3–4-комнатных квартир; 3 — расширительный бак контура генерации тепловой энергии; 4 — пластинчатый теплообменник контура генерации тепловой энергии; 5 — циркуляционный насос контура теплоснабжения; 6 — трехходовой кран переключения отопления-ГВС; 7 — пластинчатый теплообменник контура ГВС; 8 — коллекторы напорного отопительного контура (НКО) и обратного отопительного контура (ОКО); 9 — расширительный бак контура теплоснабжения; 10 — узел автоматической подпитки контура теплоснабжения

Fig. 3. Hydraulic scheme of an individual heating unit of the apartment: 1 — electric boiler with built-in circulation pump of the heat generation circuit, 9 kW/h for 1–2-room apartments, 12 kW/h for 3–4-room apartments; 2 — heat accumulator volume 150 l for 1–2-room apartments, 200 l for 3–4-room apartments; 3 — expansion tank of the heat energy generation circuit; 4 — plate heat exchanger of the heat energy generation circuit; 5 — circulation pump of the heat supply circuit; 6 — three-way valve for switching heating-DHW; 7 — plate heat exchanger of the DHW circuit; 8 — collectors of the pressurized heating circuit (PHC) and return heating circuit (RHC); 9 — expansion tank of the heating circuit; 10 — automatic replenishment unit of the heat supply circuit

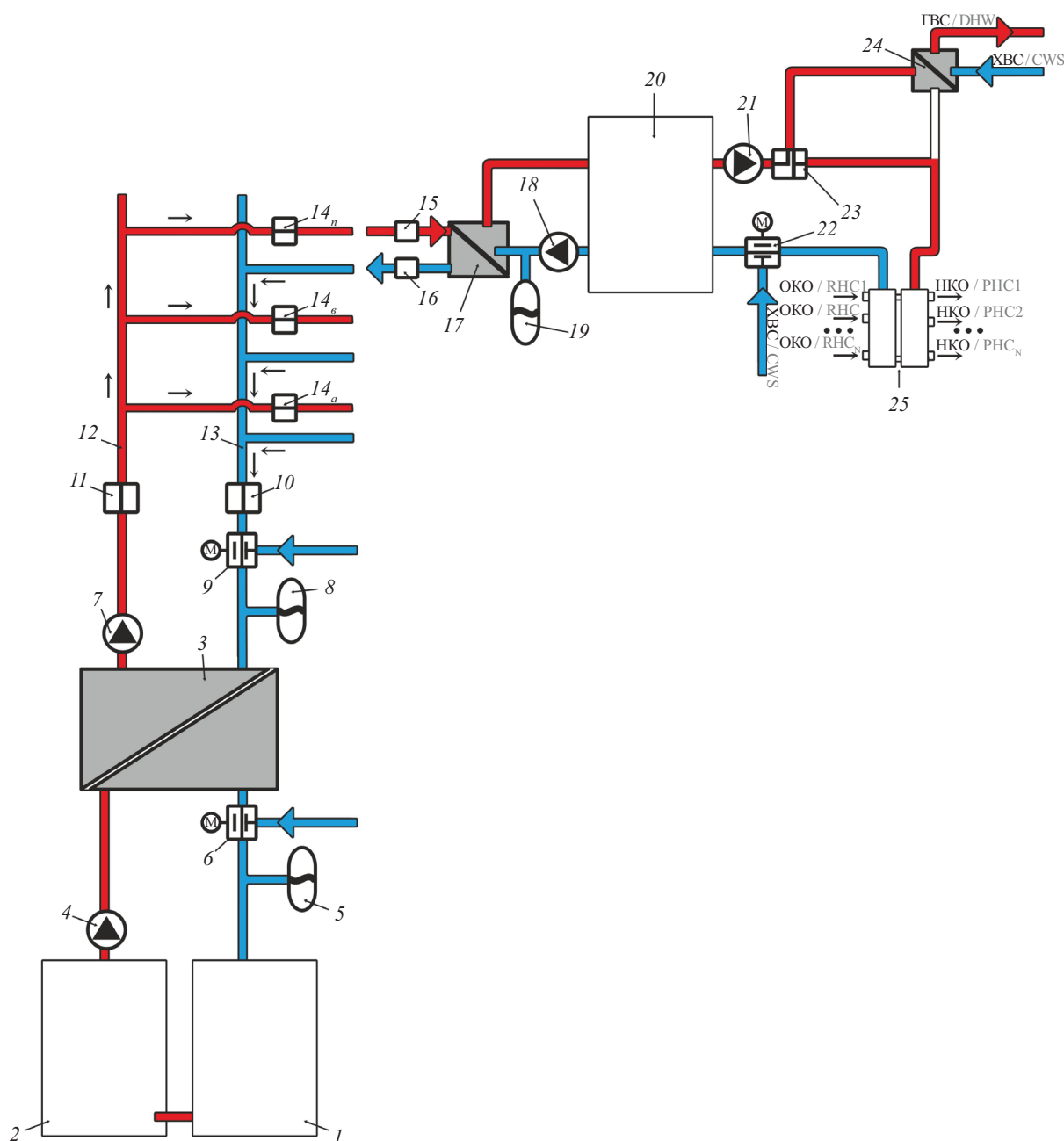


Рис. 4. Гидравлическая схема контура генерации тепла и индивидуального теплового узла для каждой квартиры: 1 — электрический котел контура генерации тепловой энергии, 100 кВт/ч на каждые 20 квартир многоквартирных домохозяйств; 2 — тепловой аккумулятор 1000 л на каждые 20 квартир; 3 — пластинчатый теплообменник контура генерации тепловой энергии; 4 — циркуляционный насос контура генерации; 5 — расширительный бак контура генерации; 6 — узел подпитки контура генерации; 7 — циркуляционный насос контура подачи тепловой энергии; 8 — расширительный бак контура подачи тепловой энергии; 9 — узел подпитки контура подачи тепловой энергии; 10, 11 — узлы контроля тепловой энергии; 12 — стояк подачи контура тепловой энергии; 13 — стояк обратной магистрали контура тепловой энергии; 14a–14n — клапан блокировки подачи тепловой энергии потребителю; 15, 16 — узлы контроля тепловой энергии конечного потребителя; 17 — пластинчатый теплообменник потребления тепловой энергии квартирным домохозяйством; 18 — циркуляционный насос первого контура индивидуального потребления; 19 — расширительный бак контура индивидуального потребления; 20 — тепловой аккумулятор квартирного домохозяйства 150–200 л; 21 — циркуляционный насос второго контура индивидуального потребления; 22 — подпитка контура индивидуального потребления; 23 — трехходовой кран распределения теплоснабжения отопление-ГВС; 24 — пластинчатый теплообменник ГВС; 25 — коллекторы напорный и обратный отопительных приборов

Fig. 4. Hydraulic diagram of the heat generation circuit and individual heating unit for each apartment: 1 — electric boiler of the heat generation circuit 100 kWh for every 20 apartments in multi-apartment households; 2 — heat accumulator 1000 l for every 20 apartments; 3 — plate heat exchanger of the heat energy generation circuit; 4 — circulation pump of the generation circuit; 5 — expansion tank of the generation circuit; 6 — generation circuit recharge unit; 7 — circulation pump of the heat supply circuit; 8 — expansion tank of the heat energy supply circuit; 9 — recharge unit of the heat energy supply circuit; 10, 11 — heat energy control units; 12 — riser of the return line of the heat energy circuit; 13 — riser of the return line of the heat energy circuit; 14a–14n — the valve blocking the supply of heat energy to the consumer; 15, 16 — units for controlling the heat energy of the end consumer; 17 — plate heat exchanger for the consumption of heat energy by an apartment household; 18 — the circulation pump of the primary circuit of individual consumption; 19 — expansion tank of the individual consumption circuit; 20 — heat accumulator of an apartment household 150–200 l; 21 — circulation pump of the second circuit of individual consumption; 22 — replenishment of the individual consumption circuit; 23 — three-way valve for the distribution of heat supply heating-DHW; 24 — DHW plate heat exchanger; 25 — pressure and return collectors of heating devices

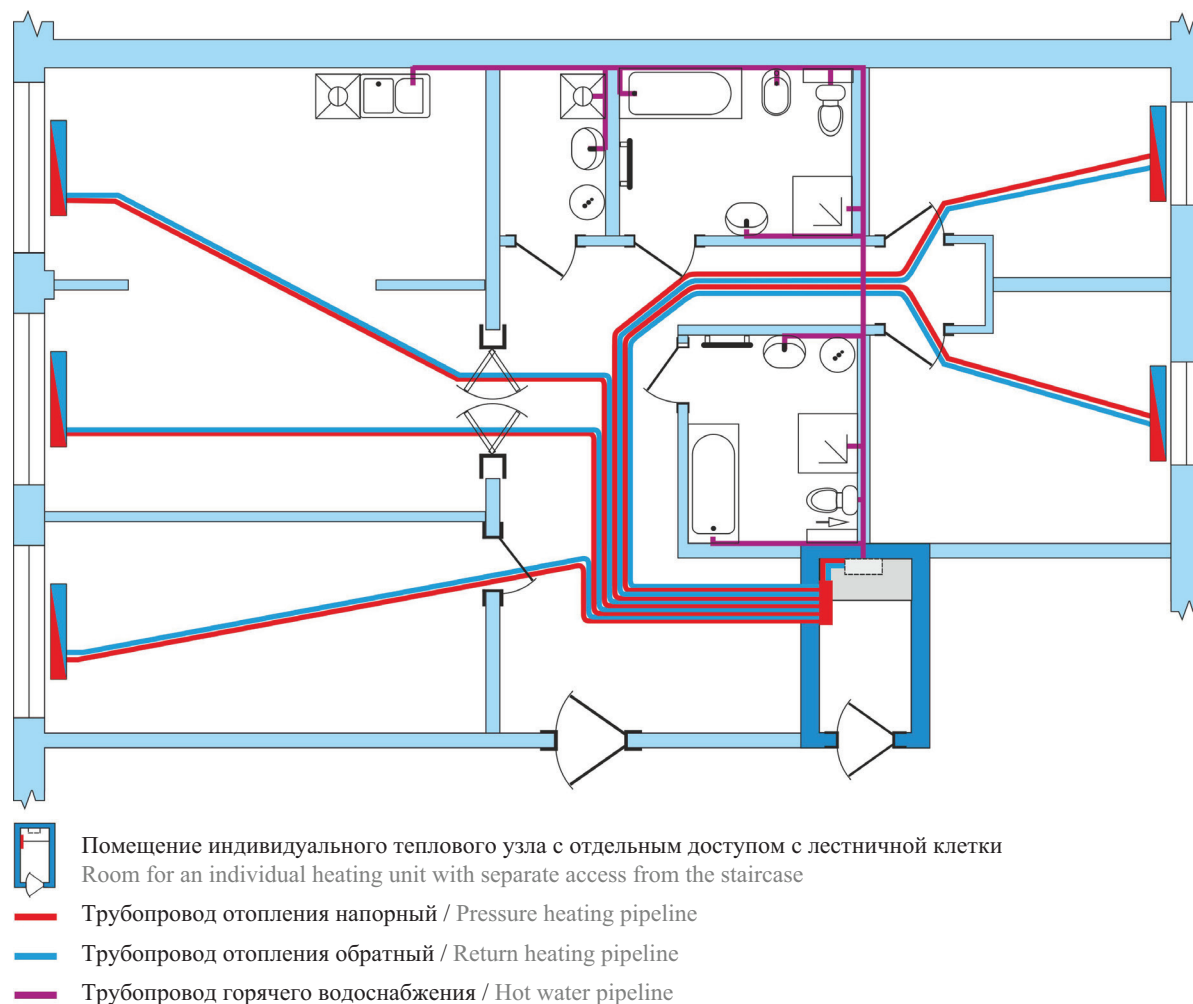


Рис. 5. Планировочное решение квартир с помещением индивидуального теплового узла с отдельным доступом с лестничной клетки

Fig. 5. Planning solution for apartments with an individual heating unit with separate access from the staircase

В обоих вариантах для подготовки горячей воды используются системы накопительного типа. Это обусловлено тем, что подготовка проточной горячей воды требует больших энергетических затрат, превышающих выделенный лимит 15 кВт электрической мощности на одно домохозяйство. Решение вопроса подготовки горячей воды для квартирного домохозяйства выполнено с использованием теплового аккумулятора объемом 150 л для 1–2-комнатных квартир и 200 л для 3–4-комнатных квартир. Рекомендуется применять именно тепловые аккумуляторы, а не бойлеры косвенного нагрева. В тепловых аккумуляторах съем тепловой энергии происходит через пластинчатые теплообменники. Нагрев горячей воды осуществляется в процессе протекания холодной воды системы холодного водоснабжения, подаваемой через пластинчатый теплообменник под давлением с одной стороны и циркуляцией нагретой воды контура теплового аккумулятора с другой стороны. Разделение контуров циркуляции через пластинчатые теплообменники решает несколько вопросов. Подготовка горячей воды происходит с использованием методов гигиенического

проектирования, исключающего возможность возникновения легионеллы и других бактерий [41].

Контуры циркуляции теплового аккумулятора и электрического генератора тепловой энергии отделены от контура потребления тепловой энергии, что позволяет контролировать качество теплоносителя и не допускать его загрязнения и образования накипи. Разделение контуров циркуляции пластинчатыми теплообменниками с установкой промежуточных фильтров снижает риски выхода из строя оборудования систем теплоснабжения. Гидравлическая схема индивидуальной автономной электрической водяной системы теплоснабжения показана на рис. 3.

В многоквартирном доме может применяться автономное коллективное электрическое теплоснабжения с тепловым электрическим генератором на несколько квартир с установкой тепловых счетчиков для каждой квартиры. Гидравлическая схема контура генерации тепла и индивидуального теплового узла для каждой квартиры представлена на рис. 4.

Как и в описанном выше варианте, разделение всех контуров циркуляции проведено с помощью

пластинчатых теплообменников. Архитектурное планировочное решение квартиры с автономным электрическим теплоснабжением выполнено с выделением индивидуального теплового узла в отдельное помещение с выходом на лестничную клетку многоквартирного дома. Это решение показано на рис. 5. Наличие данного помещения позволит производить сервисные и ремонтные работы системы теплоснабжения и других инженерных коммуникаций в любое время.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Возможность использования электрических тепловых генераторов в системах теплоснабжения городских домохозяйств или индивидуальных домов аналогичной площади с точки зрения сравнения с системами с теплогенераторами на углеводородном топливе обосновано следующими основаниями.

Требование положительного баланса выделенной электрической мощности 15 кВт/ч и суммарной мощности потребления энергии квартирного домохозяйства при электрическом теплоснабжении выполняется даже при четырехкомнатном домохозяйстве. Вопрос пикового кратковременного превышения выделенной мощности и срабатывания устройств автоматического отключения электрического питания домохозяйства решается установкой приоритетного распределения выделенной мощности.

В случае перехода на электрическую генерацию тепловой мощности при поквартирном теплоснабжении многоквартирных домов углеродоемкость производства тепловой энергии в целом по стране снижается. При замене котельных центрального отопления многоквартирных домов, работающих

на угле, на электрическую тепловую генерацию углеродоемкость эмиссии CO₂ снижается до двух-трех раз.

Соотношение затрат на оплату услуг по теплоснабжению в пользу существующего централизованного теплоснабжения в 1,32 раза (на 32 % дешевле). Наиболее экономичным является вариант поквартирного теплоснабжения с использованием индивидуальных настенных газовых котлов. При распространении тарифов на электрическое теплоснабжение по тарифу для домов с электроплитами или по тарифам сельской местности указанные значения затрат на электрическое теплоснабжение снижаются и становятся дешевле стоимости централизованного теплоснабжения, но выше поквартирного теплоснабжения настенными газовыми котлами. Средние значения энергетических тарифов по стране сильно отличаются между собой, и для актуального сравнения вариантов теплоснабжения необходим анализ каждого региона отдельно.

При электрическом поквартирном теплоснабжении исключены случаи отравления газом и взрывы зданий. Исключаются затраты на эксплуатацию тепловых и газовых коммунальных сетей.

Архитектурно-планировочное решение квартиры с автономным электрическим теплоснабжением выполнено с выделением индивидуального теплового узла в отдельное помещение с выходом на лестничную клетку многоквартирного дома. Наличие данного помещения позволит производить сервисные и ремонтные работы системы теплоснабжения и других инженерных коммуникаций без привлечения жителей домохозяйства в любое время суток.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Шарипов А.Я. Децентрализованное теплоснабжение. Приоритетные направления развития. Проблемы внедрения // CADmaster. 2020. № 2 (93). URL: https://www.cadmaster.ru/magazin/articles/cm_93_19.html
2. Баикатова А. Средний размер квартир за десятилетие уменьшился на 20 % // Независимая. 2021. URL: https://www.ng.ru/economics/2021-09-15/1_8252_apartments.html
3. Миронова А.А., Прокофьева Л.М. Семья и домохозяйство в России: демографический аспект // Демографическое обозрение. 2018. № 2. DOI: 10.17323/demreview.v5i2.7936
4. Пьянкова А.И., Щербакова Е.М., Васин С.А. Микропереписи населения России: прошлое, настоящее и будущее // Демографическое обозрение. 2018. № 2. DOI: 10.17323/demreview.v5i2.7935
5. Доброхлеб В.Г., Гузанова А.К. Городское население и семья в современной России // Народонаселение. 2016. № 2 (72). С. 75–84. EDN WCFQBN.

6. Торопов А.Л. Использование электрических котлов с иерархическим управлением нагрузкой для поквартирного теплоснабжения // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. № 11. С. 1488–1498. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.11.1488-1498. EDN AHDYIY.
7. Toropov A.L. The system of priority distribution of the allocated limited electrical capacity of the household // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 389. P. 01058. DOI: 10.1051/e3sconf/202338901058
8. Стертюков К.Г., Стародубцева О.А. Проблемы внедрения новых технологий и технических средств с целью увеличения КПД в энергетической отрасли // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2018. № 25. С. 58–73. EDN UOAKVZ.
9. Casasso A., Capodaglio P., Simonetto F., Sethi R. Environmental and Economic Benefits from

the Phase-out of Residential Oil Heating: A Study from the Aosta Valley Region (Italy) // Sustainability. 2019. Vol. 11. Issue 13. P. 3633. DOI: 10.3390/su11133633

10. Ravina M., Gamberini C., Casasso A., Panepinto D. Environmental and health impacts of domestic hot water (dhw) boilers in urban areas: A case study from Turin, NW Italy // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020. Vol. 17. Issue 2. P. 595. DOI: 10.3390/ijerph17020595

11. Гимади В., Амирагян А., Поминова И. и др. Углеродоемкость электроэнергии в мире и России // Энергетический бюллетень. 2019. № 72. URL: <https://ac.gov.ru/files/publication/a/22245.pdf>

12. Григорьев Л., Павлюшина В., Музыченко Е. и др. Экология и экономика: тенденция к декарбонизации // Бюллетень о текущих тенденциях российской экономики. 2020. № 66. URL: https://ac.gov.ru/uploads/2-Publications/BRE/_октябрь_web.pdf

13. Романова Т.Н. Обеспечение безопасности при эксплуатации бытового газового оборудования // Строительство и техногенная безопасность. 2018. № 13 (65). С. 113–120. EDN ZISCLR.

14. Шацкая К.В. Аварийность бытового газа. Причины возникновения аварий, правила безопасности использования газа в быту // European research. 2015. № 3 (4).

15. Зуев А.Н., Тарасенко В.И. Состояние и проблемы эксплуатации бытовой газовой аппаратуры — газовых плит // Вестник МГСУ. 2011. № 7. С. 507–514. EDN OWFENV.

16. Стариков А.Н., Химанина О.А., Марков М.А., Позднякова Е.В. Обеспечение безопасности эксплуатации газового оборудования // Проблемы науки. 2016. № 2 (3).

17. Яшин Д.Г., Псарев С.А. Анализ аварий на газотранспортной системе России // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2018. № 9.

18. Терёшкин А.А. Анализ аварийности на сетях газораспределения // Вестник магистратуры. 2021. № 5–6 (116). С. 63–65. EDN JURZHC.

19. Данилова А.С. Анализ аварийности сетей тепло- и газоснабжения // Вестник магистратуры. 2021. № 1–5 (112). С. 27–31. EDN QQGWA.

20. Соколов Ю.И. Системный кризис жилищно-коммунального хозяйства России // Проблемы анализа риска. 2020. Т. 17. № 5. С. 10–25. DOI: 10.32686/1812-5220-2020-17-5-10-25

21. Пилипенко Н.В. Тепловые потери и энергетическая эффективность зданий и сооружений : учебное пособие. СПб. : Университет ИТМО, 2016. 54 с.

22. Жигулина И.С., Алифанова А.И. Особенности применения электрического отопления // Современные наукоемкие технологии. 2013. № 8–1. С. 41–42. EDN QYYPOV.

23. Аллох М.Ю., Маликов С.А. Сравнение эффективности теплового насоса и электрического

котла для теплоснабжения коттеджа // X Междунар. студ. науч. конф. : студ. науч. форум. 2018. URL: <https://scienceforum.ru/2018/article/2018007141>

24. Табуничиков Ю.А. Конденсационные котлы в автономном теплоснабжении // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2016. № 4. С. 26–31. EDN WANDZV.

25. Хаванов П.А., Чуленев А.С. Климатические параметры и эффективность конденсационных котлов // АВОК. 2016. № 3. С. 56–63. EDN VRANFD.

26. Наумов Н.Р., Марьяндышев П.А., Попов А.Н., Любов В.К. Исследование работы газовых котлов малой мощности // Вестник Череповецкого государственного университета. 2017. № 4 (79). С. 27–33. DOI: 10.23859/1994-0637-2017-4-79-4 EDN ZCDJEB.

27. Bonaros V., Gelegenis J., Harris D., Giannakidis G., Zeryas K. Analysis of the energy and cost savings caused by using condensing boilers for heating dwellings in Greece // 5th International Conference on Applied Energy ICAE2013. Pretoria, South Africa, 2013. DOI: 10.13140/RG.2.1.2731.4406

28. Хаванов П.А., Чулнёв А.С. Источники теплоты автономных систем теплоснабжения : монография. М. : Издательство МИСИ – МГСУ, 2022. 262 с.

29. Хаванов П.А., Чулнёв А.С. Оценка мощности и экологические аспекты теплогенерирующих установок : учебно-методическое пособие. М. : Московский государственный строительный университет, Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ, 2017. 82 с.

30. Торопов А.Л. Гидравлическая и тепловая устойчивость работы автономных систем поквартирного теплоснабжения // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. № 7. С. 944–953. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.7.944-953 EDN QWQWXX.

31. Vignali G. Environmental assessment of domestic boilers: A comparison of condensing and traditional technology using life cycle assessment methodology // Journal of Cleaner Production. 2017. Vol. 142. Pp. 2493–2508. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.11.025

32. Ma D., Zou G., Guo J., Li J., Kan Z., Wang C. Research on evaluation method of coal-to-electricity project considering load access mode // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 558. Issue 5. P. 052012. DOI: 10.1088/1755-1315/558/5/052012

33. Xie F., Sun Z., Zhou X., Fu C., Yang J. Economic analysis of electric heating based on critical electricity price // AIP Conference Proceedings. 2018. DOI: 10.1063/1.5041186

34. Nielsen M.G., Morales J.M., Zugno M., Pedersen T.E., Madsen H. Economic valuation of heat pumps and electric boilers in the Danish energy system // Applied Energy. 2016. Vol. 167. Pp 189–200. DOI: 10.1016/j.apenergy.2015.08.115

35. Терентьева А.С. Анализ основных проблем централизованного теплоснабжения в России на современном этапе // Науч. тр.: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. 2020. № 18. С. 253–273. DOI: 10.47711/2076-318-2020-253-273. EDN THHLDV.

36. Стенников В.А., Пеньковский А.В. Проблемы российского теплоснабжения и пути их решения // Всероссийский экономический журнал ЭКО. 2019. № 9. С. 48–69. DOI: 10.30680/EC00131-7652-2019-9-48-69

37. Щапова Я.А. Состояние и перспективы развития теплоэнергетики в России // Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе : мат. Нац. с междунар. участием науч.-практ. конф. студентов, аспирантов, ученых и специалистов, посвящ. 20-летию создания кафедры электроэнергетики. 2020. С. 50–51. EDN UJMCST.

38. Цуверкалова О.Ф. Анализ современного состояния и тенденций развития отрасли теплоснабже-

ния в РФ // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2020. № 11–3. С. 554–559. DOI: 10.17513/vaael.1462 EDN VFEUFY.

39. Гайворонская М.С. Оценка потребности в газификации домохозяйств России и возможности для ее ускорения // Науч. тр.: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. 2020. № 18. С. 274–295. DOI: 10.47711/2076-318-2020-274-295 EDN MORHDW.

40. Долматов И.А., Панова М.А., Кечин С.А. Подходы к определению уровня газификации регионов // Газовая промышленность. 2019. № 4 (783). С. 88–93. EDN ZCQQPJ.

41. Торопов А.Л. О проблемах возникновения легионеллы и других бактерий в индивидуальных и децентрализованных системах отопления и горячего водоснабжения комбинированных гелиосистем // Современные наукоемкие технологии. 2019. № 3–2. С. 256–260.

Поступила в редакцию 27 апреля 2023 г.

Принята в доработанном виде 2 мая 2023 г.

Одобрена для публикации 20 июня 2023 г.

ОБ АВТОРЕ: Алексей Леонидович Торопов — кандидат технических наук, генеральный директор — главный конструктор; Инженерный центр «Апрель» (ИЦ «Апрель»); 105122, г. Москва, Щелковское шоссе, д. 13; РИНЦ ID: 1030472, ORCID: 0000-0002-7457-6948; Toropov@aprilgroup.ru.

REFERENCES

1. Sharipov A.Ya. Decentralized heat supply. Priority directions of development. Implementation problems. *CADmaster*. 2020; 2(93). URL: https://www.cad-master.ru/magazin/articles/cm_93_19.html (rus.).

2. Bashkatova A. The average apartment size has decreased by 20% in a decade. *Independent*. 2021. URL: https://www.ng.ru/economics/2021-09-15/1_8252_apartments.html (rus.).

3. Mironova A.A., Prokof'eva L.M. Family and household in Russia: the demographic aspect. *Demographic Review*. 2018; 2. DOI: 10.17323/demreview.v5i2.7936 (rus.).

4. P'yankova A.I., Shcherbakova E.M., Vasin S.A. Micro-censuses of the population of Russia: past, present and future. *Demographic Review*. 2018; 2. DOI: 10.17323/demreview.v5i2.7935 (rus.).

5. Dobrokhleb V.G., Guzanova A.K. Urban population and family in modern Russia. *Population*. 2016; 2(72):75-84. EDN WCFQBN. (rus.).

6. Toropov A.L. Using electric boilers with hierarchical load control systems to supply heat to apartments. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2022; 17(11):1488-1498. DOI:

10.22227/1997-0935.2022.11.1488-1498 EDN AHDYIY. (rus.).

7. Toropov A.L. The system of priority distribution of the allocated limited electrical capacity of the household. *E3S Web of Conferences*. 2023; 389:01058. DOI: 10.1051/e3sconf/202338901058

8. Stertyukov K.G., Starodubtseva O.A. Problems of introduction of new technologies and technical tools to increase efficiency in the energy sector. *PNRPU Bulletin. Electrotechnics, Informational Technologies, Control Systems*. 2018; 25:58-73. EDN UOAKVZ. (rus.).

9. Casasso A., Capodaglio P., Simonetto F., Sethi R. Environmental and economic benefits from the phase-out of residential oil heating: A study from the Aosta Valley Region (Italy). *Sustainability*. 2019; 11(13):3633. DOI: 10.3390/su11133633

10. Ravina M., Gamberini C., Casasso A., Panepinto D. Environmental and health impacts of Domestic Hot Water (DHW) boilers in urban areas: A case study from Turin, NW Italy. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020; 17(2):595. DOI: 10.3390/ijerph17020595

11. Gimadi V., Amiraghyan A., Pominova I. et al. Carbon intensity of electricity in the world and Russia.

Energy Bulletin. 2019; 72. URL: <https://ac.gov.ru/files/publication/a/22245.pdf> (rus.).

12. Grigoriev L., Pavlyushina V., Muzychenko E. et al. Ecology and economics: Tendency towards decarbonization. *Bulletin on Current Trends in the Russian Economy*. 2020; 66. URL: https://ac.gov.ru/uploads/2-Publications/BRE/_октябрь_web.pdf (rus.).

13. Romanova T.N. Security at operation of household gas equipment. *Construction and Industrial Safety*. 2018; 13(65):113-120. EDN ZISCLR. (rus.).

14. Shatskaya K.V. Accident rate of domestic gas. Causes of accidents, safety rules for the use of gas in everyday life. *European Research*. 2015; 3(4). (rus.).

15. Zuev A., Tarasenko V. The condition and problems of gas-stove operation of the domestic gas-fitting. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2011; 7:507-514. EDN OWFENV. (rus.).

16. Starikov A.N., Khimanina O.A., Markov M.A., Pozdnyakova E.V. Ensuring the safety of gas equipment operation. *Problems of Science*. 2016; 2(3). (rus.).

17. Yashin D.G., Psarev S.A. Analysis of accidents in the gas transmission system of Russia. *Fire Safety: Problems and Prospects*. 2018; 9. (rus.).

18. Tereshkin A.A. Analysis of accidents on gas distribution networks. *Bulletin of the Magistracy*. 2021; 5-6(116):63-65. EDN JURZHC. (rus.).

19. Danilova A.S. Analysis of the accident rate of heat and gas supply networks. *Bulletin of the Magistracy*. 2021; 1-5(112):27-31. EDN QQGWF. (rus.).

20. Sokolov Yu.I. Systemic crisis of housing and communal services in Russia. *Issues of Risk Analysis*. 2020; 17(5):10-25. DOI: 10.32686/1812-5220-2020-17-5-10-25 (rus.).

21. Pilipenko N.V. *Heat losses and energy efficiency of buildings and structures : tutorial*. St. Petersburg, ITMO University, 2016; 54. (rus.).

22. Zhigulina I.S., Alifanova A.I. Features of the use of electric heating. *Modern science-intensive technologies*. 2013; 8-1:41-42. EDN QYYPOV. (rus.).

23. Alloh M.Yu., Malikov S.A. Comparison of the efficiency of a heat pump and an electric boiler for heating a cottage. *X International Student Scientific Conference: student scientific forum*. 2018. URL: <https://scienceforum.ru/2018/article/2018007141> (rus.).

24. Tabunshchikov Yu.A. Tabunshchikov Yu.A. Condensing boilers in autonomous heat supply. *ABOK: Heating, Ventilation, Air-Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics*. 2016; 4:26-31. EDN WANDZV. (rus.).

25. Khavanov P.A., Chulenev A.S. Climatic parameters and efficiency of condensing boilers. *ABOK: Heating, Ventilation, Air-Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics*. 2016; 3:56-63. EDN VRANFD. (rus.).

26. Naumov N.R., Maryandyshev P.A., Popov A.N., Lyubov V.K. Study on gas boilers of low ca-

pacities. *Cherepovets State University Bulletin*. 2017; 4(79):27-33. DOI: 10.23859/1994-0637-2017-4-79-4 EDN ZCDJEB. (rus.).

27. Bonaros V., Gelegenis J., Harris D., Giannakidis G., Zeryas K. Analysis of the energy and cost savings caused by using condensing boilers for heating dwellings in Greece. *5th International Conference on Applied Energy ICAE2013*. Pretoria, South Africa, 2013. DOI: 10.13140/RG.2.1.2731.4406

28. Khavanov P.A., Chulnev A.S. *Heat sources of autonomous heat supply systems : monograph*. Moscow, Publishing house MISI – MGSU, 2022; 262. (rus.).

29. Khavanov P.A., Chulnev A.S. *Power assessment and environmental aspects of heat generating installations: teaching aid*. Moscow, Moscow State University of Civil Engineering, IP Air Media, EBS DIA, 2017; 82. (rus.).

30. Toropov A.L. Hydraulic and thermal stability of independent systems of apartment heating. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2022; 17(7):944-953. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.7.944-953 EDN QWQWXX. (rus.).

31. Vignali G. Environmental assessment of domestic boilers: A comparison of condensing and traditional technology using life cycle assessment methodology. *Journal of Cleaner Production*. 2017; 142:2493-2508. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.11.025

32. Ma D., Zou G., Guo J., Li J., Kan Z., Wang C. Research on evaluation method of coal-to-electricity project considering load access mode. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020; 558(5):052012. DOI: 10.1088/1755-1315/558/5/052012

33. Xie F., Sun Z., Zhou X., Fu C., Yang J. Economic analysis of electric heating based on critical electricity price. *AIP Conference Proceedings*. 2018. DOI: 10.1063/1.5041186

34. Nielsen M.G., Morales J.M., Zugno M., Pedersen T.E., Madsen H. Economic valuation of heat pumps and electric boilers in the Danish energy system. *Applied Energy*. 2016; 167:189-200. DOI: 10.1016/j.apenergy.2015.08.115

35. Terentyeva A.S. Analysis of the main district heating issues in Russia at the present stage. *Scientific Works: Institute of Economic Forecasting of the Russian Academy of Sciences*. 2020; 18:253-273. DOI: 10.47711/2076-318-2020-253-273 EDN THLDV. (rus.).

36. Stennikov V.A., Penkovskii A.V. Problems of the Russian Heat Supply and Ways of Solving them. *ECO*. 2019; 9:48-69. DOI: 10.30680/EC00131-7652-2019-9-48-69 (rus.).

37. Shchapova Ya.A. State and prospects for the development of thermal power engineering in Russia. *Energy saving and innovative technologies in the fuel and energy complex : materials of the National with international participation scientific and practical conference of students, graduate students, scientists and specialists dedicated to the 20th anniversary of the cre-*

ation of the Department of Electric Power Engineering. 2020; 50-51. EDN UJMCCT. (rus.).

38. Tsuverkalova O.F. Analysis of the current state and trends of development of the heat supply industry in the Russian Federation. *Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law*. 2020; 11-3:554-559. DOI: 10.17513/vaael.1462. EDN VFEUFY. (rus.).

39. Gayvoronskaya M.S. Assessment of the need of households for gasification in Russia and the possibilities for its acceleration. *Scientific Works: Institute of Economic Forecasting of the Russian Academy of Sci-*

ences. 2020; 18:274-295. DOI: 10.47711/2076-318-2020-274-295 EDN MORHDW. (rus.).

40. Dolmatov I.A., Panova M.A., Kechin S.A. Approaches to the determination of the gasification level of regions. *GAS Industry*. 2019; 4(783):88-93. EDN ZCQQPJ. (rus.).

41. Toropov A.L. On the problems of the occurrence of legionella and other bacteria in individual and decentralized heating systems and hot water supply of combined solar systems. *Modern science-intensive technologies*. 2019; 3-2:256-260. (rus.).

Received April 27, 2023.

Adopted in revised form on May 2, 2023.

Approved for publication on June 20, 2023.

B I O N O T E S: **Alexey L. Toropov** — Candidate of Technical Sciences, General Director — Chief Designer; **Engineering Center “April”**; 13 Schelkovskoe shosse, Moscow, 105122, Russian Federation; ID RSCI: 1030472, ORCID: 0000-0002-7457-6948; Toropov@aprilgroup.ru.

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 338.24:69.003.13

DOI: 10.22227/1997-0935.2023.9.1466-1476

Современное состояние и направления развития проектного управления в дорожном строительстве

Марина Юрьевна Мишланова¹, Ангелина Георгиевна Баранова^{1,2}

¹ *Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия;*

² *Государственное казенное учреждение города Москвы «Управление дорожно-мостового строительства» (ГКУ «УДМС»); г. Москва, Россия*

АННОТАЦИЯ

Введение. Охарактеризована значимость дорожного строительства как в инвестиционно-строительной деятельности, так и в национальной экономике в целом. Отмечена специфика управления инвестиционно-строительной деятельностью, включая дорожное строительство, которая имеет в своей основе многоуровневый проектный подход.

Материалы и методы. Методами исследования являются обзор информационных источников, анализ проектного подхода и основ управления дорожным строительством, использование системного подхода с выделением уровней проектного управления, обобщение профессионального опыта работы в службе государственного заказчика, сравнительный анализ материала с выявлением проблем и трендов развития проектного управления в дорожном строительстве.

Результаты. Рассмотрен макроуровень проектного управления, так как развитие дорожного строительства входит в систему национальных проектов в соответствии с целями развития страны. Определены проблемы управления национальными проектами, включая «Безопасные качественные дороги» и «Комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры». Проанализированы проблемы практической деятельности государственного заказчика в сфере дорожного строительства и определена специфика микропроектного уровня дорожного строительства. Представлен экспресс-обзор направлений совершенствования проектного управления в дорожном строительстве. Предлагаются на межотраслевом уровне мероприятия совершенствования проектного управления, что будет иметь результативное отражение на микроуровне конкретных проектов дорожного строительства.

Выводы. Выявлены ключевые позиции методологического обеспечения эффективного проектного управления в дорожном строительстве: оптимизация цепочки создания стоимости инвестиционно-строительных проектов; консолидация параметров управления стоимостью, расписанием и качеством в модель проекта; оценка и управление моментной эффективностью инвестиционно-строительного проекта; использование синергетического эффекта системных компонентов управления стоимостью проектов; внедрение адаптивного управления инвестиционно-строительными проектами, управления по прецедентам, продукционного моделирования и системы контроллинга.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: проектное управление, национальные проекты, дорожное строительство, инвестиционно-строительный проект, капитальное строительство, информационная модель, параметры управления, системы контроллинга

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Мишланова М.Ю., Баранова А.Г. Современное состояние и направления развития проектного управления в дорожном строительстве // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. Вып. 9. С.1466–1476. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.9.1466-1476

Автор, ответственный за переписку: Ангелина Георгиевна Баранова, angelina.baranova.gr@yandex.ru.

Current state and directions of development of project management in road construction

Marina Yu. Mishlanova¹, Angelina G. Baranova^{1,2}

¹ *Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation;*

² *Moscow State Institution “Management of road and bridge construction”; Moscow, Russian Federation*

ABSTRACT

Introduction. The significance of road construction both in investment and construction activity and in the national economy

in general is characterized. The specificity of investment and construction activity management, including road construction, which has a multi-level project approach in its basis, is noted.

Materials and methods. The research methods are a review of information sources, analysis of the project approach and the basics of road construction management, the usage of a systematic approach with the allocation of project management levels, generalization of professional experience in the service of the state customer, comparative analysis of the material with the identification of problems and trends in the development of project management in road construction.

Results. The macro level of project management is considered, because, according to the country's development goals, the development of road construction is included in the system of national projects. The problems of the management of the national projects, including "Safe high-quality roads" and "Comprehensive plan for modernization and expansion of the trunk infrastructure" are identified. The problems of the state customer practice in the sphere of road construction are analyzed and the specifics of the micro-project level of road construction are defined. The express review of the directions of project management improvement in road construction is presented. The measures of project management improvement are proposed at the inter-branch level, which will be effectively reflected at the micro level of specific road construction projects.

Conclusions. Based on the results of the analytical review, the key positions of methodological support for effective project management in road construction were identified: optimization of the value chain of investment and construction projects; consolidation of cost, schedule and quality management parameters into the project model; assessment and management of the moment efficiency of the investment and construction project; use of the synergetic effect of system components of project cost management; implementation of adaptive management of investment and construction projects, precedent management, production modelling and controlling system.

KEYWORDS: project management, national projects, road construction, investment and construction project, capital construction, information model, management parameters, controlling systems

FOR CITATION: Mishlanova M.Yu., Baranova A.G. Current state and directions of development of project management in road construction. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2023; 18(9):1466-1476. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.9.1466-1476 (rus.).

Corresponding author: Angelina G. Baranova, angelina.baranova.gr@yandex.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Россия — самая большая страна мира, ее протяженность составляет около десяти тысяч километров, дорожное строительство имеет стратегическое значение. Одна из главных государственных задач — формирование современной комфортной и безопасной среды жизнедеятельности, включая развитие дорожной сети. Правительство РФ расходует на инвестиции в дорожную отрасль ежегодно более 2 трлн рублей [1]. В области капитального строительства создание магистральной инфраструктуры является значимым приоритетом [2, 3]. Дорожное строительство занимает порядка 60 % от совокупного объема финансирования производственного комплекса [4].

Ряд проблем настоящего времени привел к ухудшению состояния дорожно-строительной отрасли, вследствие чего ключевым показательным фактором к концу 2022 г. стало снижение прибыли у 94,1 % компаний рассматриваемой сферы деятельности. Для 41,2 % отмечается значительный урон, при этом у 70,6 % компаний осложнилось положение с долговой нагрузкой, а у 58,8 % — с денежными займами.

Обзор сегодняшнего состояния российского дорожного строительства, который будет детализирован далее, позволяет выявить актуальные научно-исследовательские задачи. В качестве приоритетной выступает изучение комплекса проблем дорожного строительства с установлением их причин и выявлением негативных и позитивных факторов, что даст возможность представить прогноз направлений будущего развития отрасли. Определяя объектом исследования систему управления дорожным строительством, скор-

ректируем сформулированную выше задачу с учетом системных особенностей данного объекта.

Специфика управления инвестиционно-строительной деятельностью, включая дорожное строительство, имеет в своей основе проектный подход как комплекс целенаправленных инвестиционно-строительных процессов и системных элементов, функционирование которых завершается планируемым проектным результатом в соответствии с рядом ограничений по времени и ресурсам. Предмет исследования — проектный подход в управлении дорожным строительством. Сложная система проектного управления в дорожном строительстве имеет структурный иерархический вектор «национальные проекты – инвестиционные проекты дорожного строительства», что требует специфического подхода в исследовании.

На сочетании актуальных вызовов и специфики проектного управления в дорожном строительстве авторы предлагают формулировку цели исследования, представленного в настоящей публикации. Цель исследования — идентификация многоуровневых компонентов проблемного поля современного дорожного строительства и диагностирование эффективных направлений разрешения проблем на основе проанализированного научно-практического опыта и авторских предложений. Проведенные авторами статьи обзор различных информационных источников и анализ практического опыта позволяют сделать обобщающие выводы и определить направления исследований, научно-практических разработок и тренды совершенствования системы управления инвестиционными проектами дорожного строительства [4, 5–13, 14–22].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Методами проведенного исследования являются обзор различных информационных источников, анализ проектного подхода и методологических основ управления дорожным строительством, использование основных положений системного подхода с выделением уровней проектного управления, обобщение профессионального опыта работы в службе государственного заказчика, классификация и сравнительный анализ с выявлением проблем и трендов развития проектного управления в дорожном строительстве.

Объект исследования был рассмотрен как система, неудовлетворяющая требованиям эффективного управления проектами дорожного строительства и нуждающаяся в совершенствовании. Идентификация проблемного поля содержала следующие методические итерации: ретроспектива вопроса – оценка существующих результатов – анализ, структурирование и систематизация проблем. Возможность разрешения изученных проблем включала выявление фрагментарных исследований в заявленном направлении и определение путей и способов совершенствования проектного управления в дорожном строительстве.

Этапы представленного исследования: анализ макроуровня проектного управления в дорожном строительстве; анализ микроуровня; оценка профессионального прогноза развития дорожного строительства; структурирование информации и обобщение в матричном формате; анализ фрагментарных исследований различных авторов; конкретные практические рекомендации решения частных задач; определение направлений системного совершенствования проектного подхода в управлении дорожным строительством.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На первом этапе анализа рассмотрим макроуровень проектного управления в исследуемой сфере. Развитие дорожного строительства входит в систему национальных проектов в соответствии с целями развития страны¹ [22]. В настоящее время в данном направлении действуют два национальных проекта: «Безопасные качественные дороги»² и «Комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры»³.

¹ О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года : Указ Президента Российской Федерации от 21.07.2020 № 474.

² Паспорт национального проекта «Национальный проект «Безопасные качественные дороги»».

³ Об утверждении Комплексного плана модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 года : утв. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 30.09.2018 № 2101-р.

В проект «Безопасные качественные дороги» входит шесть федеральных проектов, каждый из которых затрагивает стратегически важные аспекты реализации качественного дорожного хозяйства в современных условиях развития. За период реализации ряд проектных показателей, например «доля автомобильных дорог регионального значения, соответствующих нормативным требованиям» [2], не достиг планового значения. И кризисная ситуация 2023 г. не позволяет сделать позитивный прогноз.

«Комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры» предполагает повышение уровня транспортных связей между округами России, улучшение мобильности населения, снижение экологических загрязнений. По результатам проекта до 2024 г. планируется ввести более 119,3 км путей по различным направлениям. Но при реализации проекта на текущий момент были внесены изменения в план вследствие возникновения проблем повышения стоимости, а также неподтвержденных данных о пассажиропотоках. Указанный фактор служит важнейшим показателем при расчетах окупаемости конкретных инвестиционных проектов дорожного строительства.

В настоящее время системной турбулентности финансовое планирование национальных проектов отличается стохастическим характером по некоторым причинам [13]. Например, обязательства по финансированию могут радикально пересматриваться в зависимости от наличия ресурсов и динамики потребностей в финансировании «приоритетно отчетных» мероприятий. Динамический дисбаланс в своей основе имеет некорректное хронопланирование проектов на всех уровнях, наблюдается нерациональное распределение расходов по этапам проектного жизненного цикла.

В системе управления национальными проектами не проработаны зависимости между объемами финансового обеспечения и показателями реализации проектов, имеют место недостатки согласования бюджетных процедур и ресурсного обеспечения реализации проектов. Методика расчета целевых показателей и, соответственно, ожидаемых результатов построена по упрощенным бюрократическим схемам без научного технико-экономического обоснования.

Методологическое обоснование и методические рекомендации по применению экономико-математических методов, разработке стоимостных и натуральных балансов, применению приемов взаимоувязки и сбалансирования показателей как национальных проектов, в общем, так и инвестиционных проектов дорожного строительства, в частности, сегодня отсутствуют. Проекты не обеспечены финансовыми расчетами, расчетной информацией об объемах, качестве, поставках материальных ресурсов и о необходимых трудовых ресурсах, отсутствует полная и достоверная информация о рисках.

Нарушение вертикальной системной корреляции «национальные цели – национальные – федеральные – региональные проекты» на практике приводит к тому, что совокупность мер национальных проектов не приводит к достижению национальных целей. Существующий декомпозиционный вектор управления не отличается целостностью, степень разрывов и несогласованности имеет наращение в приближении к микропроектному уровню исполнения конкретных проектных мероприятий. Например, в практической деятельности Государственного казенного учреждения города Москвы «Управление дорожно-мостового строительства» (ГКУ «УДМС») диагностируются следующие актуальные проблемы планирования и реализации дорожно-строительных проектов.

В принятом двухстадийном проектировании существует необходимость разработки проектной документации, получения на нее положительного заключения государственной экспертизы. Далее на основе проектной документации требуется разработка рабочей документации с повышенной детализацией, которая в будущем согласовывается с эксплуатирующей организацией. В свою очередь эксплуатирующая компания выдает новые требования и замечания, из-за чего возникают новые отклонения рабочей документации от проектной. По этой причине появляется потребность актуализации проектных документов с повторным прохождением государственной экспертизы. Такое нерациональное построение процессов рабочей деятельности приводит к «завоению» трудовых затрат, увеличению сроков строительства и стоимости.

Достаточно часто возникают ситуации, связанные с неполнотой выдаваемых эксплуатирующей организацией технических условий на прокладку и перекладку инженерных сетей, которыми руководствуются разработчики проектной документации и члены государственной экспертизы. В таких случаях у проектировщика отсутствует возможность учета в проектной документации при прохождении государственной экспертизы необходимых дополнительных требований, которые впоследствии все равно выставляются эксплуатирующей организацией. Проблемной становится и обратная ситуация — выдача избыточных технических условий, которые противоречат действующим строительным нормам и в будущем не дают возможности получить положительное заключение государственной экспертизы.

Градостроительным кодексом предусмотрена возможность внесения изменений в проектно-сметную и рабочую документацию путем утверждения приказом заказчика, но при этом отсутствует четкая градация изменений, предусмотренных таким приказом. В связи с чем у контрольных органов — строительного контроля, технического надзора — в ряде случаев появляются основания для отказа в выдаче разрешительной документации.

Рассмотренные выше прецеденты являются комплексным фактором, отражающим как макро-, так и микроуровень проектной деятельности в дорожном строительстве. На втором этапе изучения перейдем к микроуровню данной проектной деятельности. Обобщая рассмотренную авторами практику реализации проектов дорожного строительства, можно утверждать, что фундаментальный с практической точки зрения микропроектный уровень отличается следующими специфическими особенностями:

- недоработка технико-экономического обоснования, недостатки в планировании и погрешности расчетов;
- сложности продвижения проектов и многочисленных согласований;
- длительность, задержка конкурсных процедур и контрактации;
- оппортунистическое поведение участников проекта — искажение информации по проекту, нарушение контрактных условий, пренебрежение обязательствами;
- нарушения целевого использования средств и ресурсов строго для реализации проектных мероприятий;
- неполное освоение бюджетных средств по строительству;
- непредоставление отчетной документации подрядчиками;
- превышение сроков исполнения проектных работ;
- недостаточное качество строительных и ремонтных работ;
- эпизодический характер контроля.

На основе данных аналитического обзора современного состояния дорожного строительства [14] можно сделать вывод о том, что одна из значимых проблем — существенное удорожание строительства. Возникновению этой ситуации послужила совокупность таких причин, как резкий рост цен на строительные материалы и услуги, срывы поставок строительной техники и нарушение выстроенной логистики. По мнению специалистов, удорожание уже реализуемых проектов находится в диапазоне от 11 до 25 %, на соответствующем уровне прогнозируется рост цен и для будущих проектов. Значимым негативным явлением строительные компании признают задержку поставок импортного оборудования или запасных частей для техники, а также снижение доступности отечественного оборудования по причине прямой зависимости производства от импортного сырья или полное отсутствие отечественного аналога, соответствующего всем техническим характеристикам и функциональным параметрам, предъявляемым к оборудованию.

На третьем этапе исследования можно сделать обобщение результатов опроса специалистов [14] и составить прогноз развития дорожного строи-

тельства на ближайшую перспективу. В отношении проблем обеспечения строительства материалами специалисты полагают, что будут заключаться форвардные контракты на некоторые виды строительных материалов (37 % опрошенных). В настоящее время предприняты попытки решения проблем импортозамещения оборудования и материалов, подбираются альтернативные производители и поставщики, что позволяет 68 % респондентов предполагать вероятность решения и урегулирования сферы импортозамещения. Мнение, что наблюдаемый сейчас дефицит кадров будет ликвидирован, составляет 13 % ответов, что ситуация останется на том же уровне — 20 %.

К 2023 г. Министерство строительства РФ активно готовит и государственных заказчиков, и рынок к переходу на ресурсную модель. На официальном портале Федеральной государственной информационной системы ценообразования в строительстве (ФГИС ЦС) был запущен пробный вариант для тестирования. Исходя из этого, вероятность положительного решения вопроса с ценообразованием и переходом на ресурсную модель специалистами сочли равной 43 %.

Известно, что государственно-частное партнерство (ГЧП) в современной России пока не нашло широкого применения, но в связи с возрастающей сложностью экономических процессов, технологичностью и социальным прогрессом требуются новые модели сотрудничества. Специалисты сочли вероятность того, что государство сделает ставку на запуск ГЧП и снизит долю государственных заказов к середине 2023 г. — 25 %. Вероятность перехода государства к долгосрочному планированию составляет 52 %.

Государство выработало определенные меры поддержки для строительной отрасли: предоставление авансов, льготное кредитование организаций, относящихся к системообразующим предприятиям, выпущено Постановление от 09.08.2021 № 1315, предусматривающее компенсацию ввиду роста цен на строительные ресурсы. Возможность продления существующих временных мер в отрасли оценивается в 82 %.

На четвертом этапе данной работы выполнено структурное обобщение существующих проблем дорожного строительства и направлений их разрешения (табл.).

На пятом этапе исследования представим фрагментарные результаты различных авторов, работающих в заявленном направлении. Бесспорно, что значительные объемы работ и финансирования, запланированные в проектах дорожного строительства, требуют эффективного освоения с использованием современных технологий управления инвестиционно-строительными проектами [16, 18]. В заявленном направлении исследования имеет место определенный научно-практический опыт, что позволяет авторам данной статьи представить экспресс-обзор направлений совершенствования проектного управления микроуровня в дорожном строительстве [7, 8, 10, 12, 15].

Например, в работе А.И. Пискарева [8] исследуется эффективность реализации государственного заказа как определенный баланс между предельным уровнем затрат, зафиксированных на этапе заключения контракта, и сохранением технико-экономических характеристик проекта. Представленные в публикации научные результаты позволяют оценить перерасход планируемых капиталовложений и обе-

Характеристика проблем дорожного строительства и направлений их решений

Characterization of road construction problems and directions of their solutions

Проблемный уровень Problem level	Системные проблемы System problems	Направления решений Solution directions
Макроуровень / Macro level	Снижение бюджетного финансирования дорожной инфраструктуры по сравнению с предыдущими периодами: национальный проект «Безопасные качественные дороги» включает шесть федеральных проектов, каждый из которых отвечает за важные аспекты реализации качественного дорожного хозяйства — на данный момент реализации не все показатели достигают планового значения в связи с постоянным сокращением бюджетного финансирования Decrease in budget financing of road infrastructure compared to previous periods: the national project “Safe high-quality roads” includes six federal projects, each of which is responsible for important aspects of the implementation of quality road facilities — at the moment of implementation not all indicators reach the planned value due to the constant reduction of budget financing	В связи с кризисной ситуацией стало меняться формирование бюджетного финансирования и произошло сокращения выделенных средств в дорожное хозяйство, но развитие дорожной сети является одной из главных задач для РФ в вопросах градостроительства. Вследствие этого необходимо учесть новые экономические условия для строительства и начать развивать методы финансового моделирования дорожно-строительных проектов для сложившихся обстоятельств In connection with the crisis situation, the formation of budget financing has changed and there has been a reduction in the funds allocated to the road sector, but the development of the road network is one of the main tasks for the Russian Federation in urban planning. As a consequence, it is necessary to take into account the new economic conditions for construction and start developing methods of financial modelling of road construction projects for the current circumstances

Продолжение таблицы / Continuation of the table

Проблемный уровень Problem level	Системные проблемы System problems	Направления решений Solution directions
Макроуровень / Macro level	Повышение стоимости относительно плановых показателей: национальный проект «Комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры» предполагает повышение уровня транспортных связей между округами России, улучшение мобильности населения, снижение экологических загрязнений. Но при реализации были внесены изменения в план вследствие отсутствия возможности достижения ключевых показателей в связи с существенным повышением стоимости выполнения Increase in cost relative to planned indicators: the national project “Comprehensive plan for modernization and expansion of the trunk infrastructure” envisages an increase in the level of transport links between Russian districts, improved mobility of the population, and reduction of environmental pollution. But during implementation, the plan was amended due to the lack of possibility to achieve key indicators due to a significant increase in the cost of implementation	Наличие существенной разницы между запланированными показателями стоимости и итоговыми означает низкую осведомленность об опыте реализации прошлых проектов и некорректное построение плана будущих проектов. В связи с чем требуются такие меры совершенствования, как разработка и внедрение системы мониторинга проектов дорожного строительства, совершенствование учета и отчетности по выполнению проектных работ, развитие методов план-фактного анализа параметров дорожно-строительных проектов Significant difference between planned cost indicators and final cost indicators means low awareness of the experience of past projects and incorrect planning of future projects. Therefore, improvement measures such as development and implementation of a monitoring system for road construction projects, improvement of accounting and reporting on project works, development of methods of plan-fact analysis of parameters of road construction projects are required
	Проблемы прогнозирования: «Комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры» подразумевает строительство скоростных железнодорожных магистралей, строительство и реконструкцию портовой инфраструктуры, обновление ледокольного флота, модернизацию 62 аэропортов. В связи с чем такая проблема прогнозирования как колеблемый неподтвержденный пассажиропоток представляется как спорный момент при реализации Forecasting problems: “Comprehensive plan for modernization and expansion of the trunk infrastructure” implies construction of high-speed railways, construction and reconstruction of port infrastructure, renewal of icebreaker fleet, modernization of 62 airports. In this regard, such a forecasting problem as fluctuating unconfirmed passenger traffic seems to be a moot point in the implementation of the “Comprehensive plan for modernization and expansion of the trunk infrastructure”	Направление решения данной проблемы можно определить в применении современных цифровых технологий путем использования алгоритмов, написанных кодов, математических задач с использованием статистических данных, полученных благодаря мониторингу и отчетности The direction of solving this problem can be defined in the application of modern digital technologies through the use of algorithms, written codes, mathematical problems using statistical data obtained through monitoring and reporting
Микроуровень / Micro level	Некорректная выдача эксплуатирующей организацией технических условий на прокладку и перекладку инженерных сетей (неполнота или избыточность ТУ): в случаях неполноты выдачи ТУ у проектировщика отсутствует возможность учета в проектной документации при прохождении государственной экспертизы необходимых дополнительных требований, которые впоследствии все равно выставляются эксплуатирующей организацией. Проблемной становится и обратная ситуация — выдача избыточных ТУ, которые противоречат действующим строительным нормам и в будущем не дают возможности получить положительное заключение государственной экспертизы	Решением проблемы неполноты выдаваемых эксплуатирующей организацией технических условий может стать регламентирование ответственности данной организации, требующее более тщательной проработки технических условий и предоставление проектировщикам их в полной итоговой версии. Любые другие требования, что не прописаны в предоставленных технических условиях, эксплуатирующая организация не должна заявлять на этапе согласования

Проблемный уровень Problem level	Системные проблемы System problems	Направления решений Solution directions
Микроуровень / Micro level	Incorrect issuance by the operating organization of technical specifications for laying and relaying of engineering networks (incomplete or redundant specifications): in cases of incomplete specifications, the designer has no possibility to take into account the necessary additional requirements in the design documentation during the state expert examination, which are subsequently issued by the operating organization anyway. The opposite situation also becomes problematic — issuance of redundant specifications that contradict the current construction norms and in the future do not allow to obtain a favourable conclusion of the state expertise	A solution to the problem of incompleteness of the technical specifications issued by the operating organization may be to regulate the responsibilities of this organization, requiring that the technical specifications be more thoroughly elaborated and provided to the designers in a complete final version. Any other requirements that are not specified in the technical specifications provided should not be stated by the operating organization at the approval stage
	Нерациональное построение процессов рабочей деятельности: при двухстадийном проектировании предполагается согласование с эксплуатирующей организацией также проектной и рабочей документации (двух стадий), что приводит не к повышению качества итогового проекта, а лишь к отсутствию должной ответственности при первой проверке проектных решений, множеству внесенных изменений и «завоению» трудовых ресурсов Irrational construction of working activity processes: in two-stage design, it is assumed that the design and working documentation (two stages) are also agreed with the operating organization, which does not lead to an increase in the quality of the final project, but only to a lack of due responsibility during the first check of design solutions, a lot of changes and the “backlog” of labour resources	Одним из способов рационального движения проектных документов в г. Москве может стать отмена согласования с эксплуатирующей организацией на поздних сроках. Перед началом проектирования эксплуатирующая организация самостоятельно выдает и определяет технические условия, в рамках которых обязан работать проектный блок. Другим решением в сложившейся ситуации может стать переход на одностадийное проектирование, при котором проектная документация приравнивается к рабочей документации, и согласование проводится единожды One of the ways of rational movement of design documents in Moscow may be the cancellation of approval with the operating organization at a late stage. Before the start of design, the operating organization independently issues and determines the technical conditions within which the design unit is obliged to work. Another solution in this situation may be the transition to one-stage design, in which the design documentation is equated with the working documentation, and the approval is carried out only once
	Нарушение основных показателей инвестиционно-строительного проекта: в связи с постоянным внесением изменений в проектно-сметную документацию падают основные плановые показатели проекта: увеличиваются его стоимость, сроки, отведенные на реализацию проекта, а также снижается качество выполнения Violation of the main indicators of the investment and construction project: due to constant changes in the design and estimate documentation, the main planned indicators of the project fall: its cost increases, the time allotted for the implementation of the project increases, and the quality of implementation decreases	Для достижения плановых ключевых показателей проекта требуется внедрение методов адаптивного управления на основе информационного моделирования проектов и определение способов обоснования инвестиций по повышению качества проектных работ и бизнес-процессов To achieve the planned key project indicators, it is required to implement adaptive management methods based on information modelling of projects and identify ways to justify investments to improve the quality of project work and business processes

спечить проектные закупки. Отсюда выдвинуто предположение, что неорганизованная работа с прецедентами на системном уровне — это существенный фактор, выявляющий расход государственного бюджета и уровень качества исполнения проекта.

Анализ влияния установления стоимости материальных ресурсов инфраструктурных проектов на характеристики экономической эффективности инвестиций путем декомпозиции сметной стоимости представлен Р.А. Бокачевым [9]. Автором разработаны практические подходы к анализу компонентов затрат на строительное производство

и определению взаимосвязи между долями сметной стоимости, что дает возможность реализовать предпосылки для создания оптимальных систем нахождения сметной стоимости в модели дисконтированных денежных потоков.

В труде [6] рассматривается эффективность управления дорожным строительством с позиций оперативного снабжения инженерных и технических отделов, работающих в камеральных условиях, сведениями со строительных площадок. Предлагаемый подход может обеспечить внедрение программы оперативного учета, способной выдавать ин-

формацию о запасах материалов и конструкций на данном этапе; соответствии работ календарному и оперативному планам; расчеты ведомостей выполненных объемов работ и др.

По мнению автора [7], фактор качества наиболее остро проявляется в дорожном строительстве. Существующее недофинансирование является причиной снижения качества работ, что приводит к быстроразвивающемуся физическому износу и преждевременному ремонту автомобильных дорог. Благодаря разработкам, приведенным в публикации [7], можно применять методики обоснования инвестиций по повышению качества как часть управленческого механизма дорожного хозяйства.

В научном труде [4] представлены критерии и весовые характеристики параметров, прямо влияющих на качество дорожного строительства. Автор разработал классификацию, с помощью которой возможно проводить систематизированный анализ строительного производства, своевременно отслеживать «слабые места» инвестиционно-строительных проектов и повышать показатели качества. Помимо этого, обоснованы методические принципы рациональной системы качества, учитывающей особенности дорожного строительства и факторы влияния на качество дорожной сети.

Качество в дорожном строительстве имеет особенности, о которых говорится в работах [3, 23], где предложен новый метод объединения расходов дорожного производства с целью увеличения их аналитичности и выделения затрат на обеспечение застройщиком качества дорожного строительства. Для этого необходимо определить критерий вклада дорожного хозяйства в валовую добавленную стоимость, который в свою очередь даст возможность сделать вывод об уровне эффективности существования дорожного хозяйства. Такой подход поможет «усилить» финансовые вложения, закладываемые в бюджет, и повысить уровень качества производимой дорожной сети [16, 19, 20].

Читателям представлен выборочный обзор научно-практических работ в соответствии с темой исследования — обзор, в котором явно определяются актуальные исследовательские потребности [22, 23]. В свою очередь авторы данной статьи предлагают обратить внимание на следующие важные моменты совершенствования системы управления инвестиционными проектами в дорожном строительстве:

- повышение эффективности оперативного управления дорожно-строительными проектами;
- развитие методов финансового моделирования инвестиционных проектов в дорожном строительстве;
- разработка и внедрение системы мониторинга проектов дорожного строительства;
- совершенствование учета и отчетности по выполнению проектных работ;

- развитие методов план-фактного анализа параметров дорожно-строительных проектов;
- определение способов обоснования инвестиций по повышению качества проектных работ и бизнес-процессов;

- внедрение методов адаптивного управления на основе информационного моделирования проектов.

Следует отметить приближение потребностей проектного менеджмента к автоматизации и интеллектуализации управления. Полноценный анализ изученных авторами источников позволяет обоснованно выбрать и сосредоточить внимание на ключевых параметрах проектного управления в дорожном строительстве: стоимость – время – качество, на базе которых будут совершенствоваться методы проектного управления в дорожном строительстве как с позиции интеллектуального управления, так и «в ручном режиме».

Например, рассмотрев ранее практику деятельности ГКУ «УДМС», авторы данной статьи предлагают на межотраслевом уровне следующие частные мероприятия совершенствования оперативного проектного управления, что, бесспорно, будет иметь результативное отражение на микроуровне конкретных проектов дорожного строительства.

Одним из способов рационального движения проектных документов в г. Москве может стать отмена согласования с эксплуатирующей организацией на поздних сроках. Перед началом проектирования эксплуатирующая организация самостоятельно выдает и определяет технические условия, в рамках которых обязан работать проектный блок. Такой опыт отсутствия дополнительного согласования имеется при реализации объектов в Московской области и в условиях ее правового регулирования.

Другим решением в сложившейся ситуации может стать переход на одностадийное проектирование, при котором проектная документация приравнивается к рабочей документации, и согласование проводится единожды. Можно наблюдать, что на данный момент правовое регулирование проектов дорожного строительства «движется» к такому варианту работы. В приказе Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ № 854/пр⁴ смещается отношение доли разработки проектно-сметной документации от привычного П/Р = 40/60 к П/Р = 60/40, что свидетельствует о стремлении технически-правового регулирования увеличения трудоемкости на проектную документацию и снижения количества отклонений при ее детализации.

Решением проблемы неполноты выдаваемых эксплуатирующей организацией технических

⁴ Об утверждении Методики определения стоимости работ по подготовке проектной документации, содержащей материалы в форме информационной модели : приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 24.12.2020 № 854/пр.

условий может стать регламентирование ответственности данной организации, требующее более тщательной проработки ТУ и предоставление проектировщикам их в полной итоговой версии. Любые другие требования, что не прописаны в предоставленных ТУ, эксплуатирующая организация не должна заявлять на этапе согласования. В рассмотренных ситуациях минимизация возможных проблем требует наиболее грамотной профессиональной подготовки ТУ, подразумевающей полное соответствие сводам правил и отсутствие противоречий Градостроительному кодексу. На макроуровне решением подобных проблем должно стать внесение уточнений как в Градостроительный кодекс, так и в разъясняющие документы. Но для внесения корректных правок предварительно необходимо провести сбор и анализ «обратной связи» от органов исполнительной власти, определенных в уставном порядке в качестве государственного заказчика.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

На основе изученной информации многоуровневого проектного управления в дорожном строительстве и анализа управленческих воздействий на всех уровнях предполагаем значительный положительный эффект совершенствования практического проектного управления именно на уровне исполнения конкретных инвестиционно-строитель-

ных проектов. По результатам проведенного аналитического обзора, часть которого представлена в данной статье, выявим ключевые позиции методологического обеспечения эффективного проектного управления в дорожном строительстве:

- анализ и оптимизация цепочки создания стоимости инвестиционно-строительных проектов на субъектных фазах;
- консолидация параметров управления стоимостью, расписанием и качеством в модель инвестиционно-строительного проекта;
- оценка и управление моментной эффективностью инвестиционно-строительного проекта;
- использование синергетического эффекта системных компонентов управления стоимостью проектов: финансирование, ресурсообеспечение, управление затратами;
- внедрение адаптивного управления инвестиционно-строительными проектами, управления по прецедентам, продукционного моделирования и системы контроллинга.

Перечисленные методологические направления отвечают принципам интеллектуального управления на основе информационной модели инвестиционно-строительного проекта с дальнейшей интеграцией в многоуровневую систему управления инвестиционно-строительной деятельностью, что соответствует современной стратегии развития строительной отрасли РФ.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Астафьева О.Е., Гончаров И.Л., Козловский А.В. Реализация инфраструктурных инвестиционных проектов // Вестник университета. 2020. № 9. С. 121–127. DOI: 10.26425/1816-4277-2020-9-121-127. EDN VKXNQV.
2. Болданова Е.В., Войникова Г.Н. Оценка реализации индикаторов национального проекта «Безопасные качественные дороги» // Социальные и экономические системы. 2022. № 3 (27). С. 204–222. EDN GCWOEW.
3. Владимирова И.Л. Управление капитальной составляющей в национальных проектах // Синергия наук. 2020. № 44. С. 9–23. EDN FCEXKB.
4. Дадашев Б.А., Гладких А.А. Основные проблемы государственной инвестиционной политики России // Научный результат. Экономические исследования. 2020. Т. 6. № 3. С. 20–26. DOI: 10.18413/2409-1634-2020-6-3-0-3
5. Тюменева И.В. Экономическая оценка качества строительства и ремонта автомобильных дорог : дис. ... канд. эконом. наук. Воронеж, 2006. 176 с. EDN NNZOMR.
6. Церпенто Д.П. Учетное отражение затрат дорожного строительства и анализ расходов на обе-

спечение его качества : дис. ... канд. эконом. наук. Саратов, 2005. 156 с.

7. Гавриш В.В. Формирование рациональной системы управления качеством дорожных работ : дис. ... канд. эконом. наук. Новосибирск, 2003. 180 с.

8. Пискарев А.И. Разработка методов оценки экономической эффективности реализации государственного строительного заказа : дис. ... канд. эконом. наук. М., 2016. 150 с.

9. Бокачев Р.А. Оценка экономической эффективности новых форм управления стоимостью строительства транспортной инфраструктуры : дис. ... канд. эконом. наук. М., 2015. 173 с.

10. Мартиросян А.А., Сухина Н.Ю. Совершенствование управления доходами и расходами организации дорожного строительства // Вестник современных исследований. 2018. № 12.2 (27). С. 349–355. EDN YSQPFR.

11. Поварницын Е.С., Киселев Е.В. Оценка эффективности использования программ оперативного учета в дорожном строительстве // Проблемы строительного производства и управления недвижимо-

стью : мат. VI Междунар. науч.-практ. конф. 2020. С. 58–61. EDN WZVDLT.

12. Мишланова М.Ю. Управление стоимостью инвестиционно-строительных проектов : монография. М. : Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2020. EDN HNRJTT.

13. Мишланова М.Ю. Анализ системных проблем национальных проектов // Менеджмент в России и за рубежом. 2021. № 4. С. 3–13. EDN ARFOKW.

14. Дорожное строительство: влияние кризиса и поддержка отрасли. Аналитический обзор Национальной ассоциации инфраструктурных компаний совместно с Sherpa Group, 2022.

15. Mishlanova M.Yu. Development trends of the Russian system of national projects // Transportation Research Procedia. 2022. Vol. 63. Pp. 1575–1581. DOI: 10.1016/j.trpro.2022.06.170

16. Xu X., Sankaran S., Ke Y., Liu J. Opportunism forms of public-private partnership projects in China: principal-agent relationship perspective // IRNOP. 2018.

17. Nkurunziza D. Investigation into road construction safety management techniques // Open Journal of Safety Science and Technology. 2020. Vol. 10. Issue 03. Pp. 81–90. DOI: 10.4236/ojsst.2020.103007

18. Achilov S.S. Expert Method of Quality Management of Road Construction Project // Middle European Scientific Bulletin. 2021. Vol. 15. DOI: 10.47494/mesb.2021.15.692

19. Zumrawi M. Development of road construction and management system. 2016. DOI: 10.13140/RG.2.2.25506.94401

20. Белостоцкий А.А. Анализ соответствия установленных и достигнутых целевых индикаторов в национальных проектах // Вестник Университета мировых цивилизаций. 2020. Т. 11. № 2 (27). С. 102–107. EDN AGLRCC.

21. Debnath A.K., Banks T., Blackman R., Donovan N., Haworth N., Biggs H. Beyond the barriers: road construction safety issues from the office and the roadside // 5th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics. 2014. DOI: 10.54941/ahfe100162

22. Горохова С.С. Национальные проекты Российской Федерации как инструмент достижения стратегических целей и задач государства // Российская юстиция. 2020. № 6. С. 41–44. EDN JSJCDH.

23. Biggs H.C., Biggs S.E. Interlocked projects in safety competency and safety effectiveness indicators in the construction sector // Safety Science. 2013. Vol. 52. Pp. 37–42. DOI: 10.1016/j.ssci.2012.03.014

Поступила в редакцию 23 февраля 2023 г.

Принята в доработанном виде 23 июня 2023 г.

Одобрена для публикации 26 июня 2023 г.

ОБ АВТОРАХ: **Марина Юрьевна Мишланова** — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры экономики и управления в строительстве; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 386390, Scopus: 57190413620, ResearcherID: B-2093-2016, ORCID: 0000-0002-2394-0746; mishlanova_m@mail.ru;

Ангелина Георгиевна Баранова — аспирант кафедры экономики и управления в строительстве; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; специалист; **Государственное казенное учреждение города Москвы «Управление дорожно-мостового строительства» (ГКУ «УДМС»)**; 117420, г. Москва, ул. Наметкина, д. 6; РИНЦ ID: 386390; angelina.baranova.gr@yandex.ru.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Astafeva O.E., Goncharov I.L., Kozlovskiy A.V. Implementation of infrastructure investment projects. *Vestnik Universiteta*. 2020; 9:121-127. DOI: 10.26425/1816-4277-2020-9-121-127. EDN VKXNQV. (rus.).

2. Boldanova Ye.V., Voinikova G.N. Assessment of the feasibility of indicators of the national project “Safe and high-quality roads”. *Social and Economic Systems*. 2022; 3(27):204-222. EDN GCWOEW. (rus.).

3. Vladimirova I.L. Management of investment and construction projects within the national projects. *Synergy of Sciences*. 2020; 44:9-23. EDN FCEXKB. (rus.).

4. Dadashev B.A., Gladkikh A.A. The main issues of the state investment policy of Russia. *Research Result. Economic Research*. 2020; 6(3):20-26. DOI: 10.18413/2409-1634-2020-6-3-0-3 (rus.).

5. Tyumeneva I.V. *Economic assessment of the quality of construction and repair of roads : the-sis ... candidate of economic sciences*. Voronezh; 2006; 176. EDN NNZOMR. (rus.).

6. Tserpento D.P. *Accounting reflection of road construction costs and cost analysis to ensure its qual-*

ity : thesis ... candidate of economic sciences. Saratov, 2005; 156. (rus.).

7. Gavrish V.V. *Formation of a rational system of quality management of road works : thesis ... candidate of economic sciences*. Novosibirsk, 2003; 180. (rus.).

8. Piskarev A.I. *Development of methods for assessing the economic efficiency of the implementation of the state order : dissertation ... candidate of economic sciences*. Moscow, 2016; 150. (rus.).

9. Bokachev R.A. *Estimation of economic efficiency of new forms of management of the cost of construction of transport infrastructure : dissertation ... candidate of economic sciences*. Moscow, 2015; 173. (rus.).

10. Martirosyan A.A., Sukhina N.Y. Improving the management of revenues and expenditures of road construction organization. *Bulletin of Contemporary Studies*. 2018; 12.2(27):349-355. EDN YSQPFR. (rus.).

11. Povarnitsyn E.S., Kiselev E.V. Evaluation of the effectiveness of operational accounting programs in road construction. *Problems of building production and real estate management : proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference*. 2020; 58-61. EDN WZVDLT. (rus.).

12. Mishlanova M.Y. *Managing the cost of investment-construction projects : monograph*. Moscow, National Research Moscow State University of Civil Engineering, 2020. EDN HNRJTT. (rus.).

13. Mishlanova M.Yu. Analysis of national projects systemic problems. *Management in Russia and Abroad*. 2021; 4:3-13. EDN ARFOKW. (rus.).

14. *Road construction: impact on the public and support of society*. Analytical review of the public association of infrastructure companies in conjunction with Sherpa Group, 2022. (rus.).

15. Mishlanova M.Yu. Development trends of the Russian system of national projects. *Transportation Research Procedia*. 2022; 63:1575-1581. DOI: 10.1016/j.trpro.2022.06.170

16. Xu X., Sankaran S., Ke Y., Liu J. Opportunism forms of public-private partnership projects in China: principal-agent relationship perspective. *IRNOP*. 2018.

17. Nkurunziza D. Investigation into road construction safety management techniques. *Open Journal of Safety Science and Technology*. 2020; 10(03):81-90. DOI: 10.4236/ojsst.2020.103007

18. Achilov S.S. Expert method of quality management of road construction project. *Middle European Scientific Bulletin*. 2021; 15. DOI: 10.47494/mesb.2021.15.692

19. Zumrawi M. *Development of Road Construction and Management System*. 2016. DOI: 10.13140/RG.2.2.25506.94401

20. Belostotskiy A.A. Analysis of the degree of compliance of the established and achieved target indicators in national projects. *Bulletin of the University of World Civilizations*. 2020; 11(2):102-107. EDN AGLRCC. (rus.).

21. Debnath A.K., Banks T., Blackman R., Donovan N., Haworth N., Biggs H. Beyond the barriers: road construction safety issues from the office and the roadside. *5th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*. 2014. DOI: 10.54941/ahfe100162

22. Gorokhova S.S. National projects of the Russian federation as a tool for achieving strategic goals and objectives of the state. *Russian Justice*. 2020; 6:41-44. EDN JSJCDH. (rus.).

23. Biggs H.C., Biggs S.E. Interlocked projects in safety competency and safety effectiveness indicators in the construction sector. *Safety Science*. 2013; 52:37-42. DOI: 10.1016/j.ssci.2012.03.014

Received February 23, 2023.

Adopted in revised form on June 23, 2023.

Approved for publication on June 26, 2023.

B I O N O T E S : **Marina Yu. Mishlanova** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associated Professor of the Department of Economy and Management in Construction; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 386390, Scopus: 57190413620, ResearcherID: B-2093-2016, ORCID: 0000-0002-2394-0746; mishlanova_m@mail.ru;

Angelina G. Baranova — postgraduate student of the Department of Economy and Management in Construction; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; specialist; **Moscow State Institution "Management of road and bridge construction"**; 6 Nametkina st., Moscow, 117420, Russian Federation; ID RSCI: 386390; angelina.baranova.gr@yandex.ru.

Authors' contribution: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare that there is no conflict of interest.

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 338.2

DOI: 10.22227/1997-0935.2023.9.1477-1493

Имущественные комплексы университетов в условиях реализации госполитики РФ в сфере высшего образования

Наталья Григорьевна Верстина¹, Сергей Седракович Игитхян¹,
Ольга Феликсовна Цуверкалова²

¹ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия;

² Волгодонский инженерно-технический институт — филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»; г. Волгодонск, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Рассматриваются вопросы формирования нового подхода к исследованию имущественных комплексов университетов, в составе которых традиционно преобладает недвижимость. Их актуальность определяется государственной политикой РФ в сфере высшего образования, важными приоритетами которой стали совершенствование управления имущественными комплексами на цифровой основе, ориентация в перспективе на создание кампусов мирового уровня.

Материалы и методы. Представлена характеристика исходных материалов исследования, составленных на основе официальных статистических данных, формируемых государственными органами РФ. Отмечена недостаточность сведений официальной отчетности для полноценного изучения вопросов развития недвижимости в составе имущественных комплексов университетов, имеется только возможность определения их основных характеристик, связанных со структурой и инвестициями в разрезе отдельных видов имущества. Подчеркивается, что при переходе к цифровизации во всех сферах экономики важно существенно преобразовать и статистическую информацию, связанную с имущественными комплексами университетов.

Результаты. Исследованы три аспекта в анализе объектов недвижимости, в контексте которых проведен комплексный анализ эффективности вложений средств государственного бюджета в имущественные комплексы российских университетов. Выявлены тенденции, существенные для оценки текущего состояния и прогнозирования ситуации со строительством и реконструкцией недвижимости в составе имущественных комплексов университетов. Отмечена основная тенденция, на которой было сконцентрировано внимание — риски возникновения объемов незавершенного строительства, которые надо сокращать в целях обеспечения эффективности реализации государственной политики РФ в сфере высшего образования.

Выводы. Предложен комплекс мероприятий, которые могут быть реализованы на уровне государства в условиях цифровизации, начиная с расширения информационной базы по эксплуатируемым, строящимся и реконструируемым объектам недвижимости, заканчивая предложениями по включению показателей состояния имущественных комплексов университетов в состав показателей их рейтингов, в том числе на основе создания на цифровой платформе информационной системы о состоянии объектов недвижимости.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: университеты, имущественные комплексы, государственная политика РФ, средства государственного бюджета, незавершенное строительство, цифровизация

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Верстина Н.Г., Игитхян С.С., Цуверкалова О.Ф. Имущественные комплексы университетов в условиях реализации госполитики РФ в сфере высшего образования // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. Вып. 9. С. 1477–1493. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.9.1477-1493

Автор, ответственный за переписку: Ольга Феликсовна Цуверкалова, ofttsuverkalova@mephi.ru.

University property complexes in the conditions of implementation of the Russian Federation state policy in the sphere of higher education

Natalya G. Verstina¹, Sergey S. Igitkhanyan¹, Olga F. Tsuverkalova²

¹ Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU); Moscow, Russian Federation;

² Volgodonsk Engineering and Technology Institute — branch of the National Research Nuclear University MEPhI; Volgodonsk, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The paper considers the questions of the formation of a new approach to the study of property complexes of universities, which are traditionally dominated by real estate. Their relevance is determined by the state policy of the Russian Federation in the sphere of higher education, the important priorities of which are the improvement of

the property complexes management on the digital basis, orientation to the creation of world-class campuses in the future.

Materials and methods. The characteristics of the source materials of the study, compiled on the basis of official statistical data generated by the state authorities of the Russian Federation, are presented. The insufficiency of official reporting data for a full-fledged study of the issues of real estate development within the property complexes of universities is noted, there is only the possibility to determine their main characteristics related to the structure and investments in the context of certain types of property. It is emphasized that during the transition to digitalization in all spheres of the economy, it is important to transform significantly the statistical information related to the property complexes of universities.

Results. Three aspects in the analysis of real estate objects were studied, in the context of which a comprehensive analysis of the effectiveness of state budget investments in the property complexes of Russian universities was carried out. The trends that are significant for assessing the current state and forecasting the situation with the construction and reconstruction of real estate as part of the property complexes of universities were identified. The main tendency, on which the attention of the authors was focused, was noted — the risks of incomplete construction, which should be reduced in order to ensure the effectiveness of the implementation of the Russian Federation state policy in the sphere of higher education.

Conclusions. In this regard, in terms of discussion, a set of measures that can be implemented at the state level in the context of digitalization was proposed, starting with the expansion of the information base on operated, under construction and reconstructed real estate, ending with proposals to include indicators of the state of university property complexes in the indicators of their ratings, including on the basis of the creation of an information system on the state of real estate objects on a digital platform.

KEYWORDS: universities, property complexes, state policy of the Russian Federation, state budget funds, construction in progress, digitalization

FOR CITATION: Verstina N.G., Igithkanyan S.S., Tsuverkalova O.F. University property complexes in the conditions of implementation of the Russian Federation state policy in the sphere of higher education. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2023; 18(9):1477-1493. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.9.1477-1493 (rus.).

Corresponding author: Olga F. Tsuverkalova, ofttsuverkalova@mephi.ru.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в условиях усложнения экономической ситуации во многих странах актуальным является вопрос поиска дополнительных резервов сокращения затрат субъектов экономической деятельности во всех сферах жизни страны, в том числе связанных с инвестиционными процессами, которые могут быть получены в новых условиях цифровизации деятельности. Наибольшим проблемным «потребителем» инвестиций в экономике любого государства традиционно выступают имущественные комплексы, включая объекты недвижимости организаций, функционирующих полностью или частично на средства государственного бюджета (университеты, больницы, жилье, учреждения культуры и др.). Это относится и к университетским имущественным комплексам, преимущественным местом локализации недвижимости которых служат городские территории. В каждой стране университетские кампусы имеют свои особенности, однако в целом их формирование направлено на достижение целей устойчивого развития как самих университетов, так и территорий их расположения [1–3]. Сегодня в РФ создаются кампусы, развитию которых на уровне мировых стандартов государством уделяется все больше внимания^{1, 2}. По словам главы Минобрнауки В.Н. Фалькова, в перспективе в РФ планируется создать более 37 тыс.

новых мест для проживания студентов и преподавателей, более 130 исследовательских лабораторий, более 1 млн м² новых комфортных площадей для обучения, проведения исследований, проживания, досуга и спорта³. Появляется совершенно иная риторика, связанная с объектами недвижимости в составе кампусов, — они начинают рассматриваться как объекты для обеспечения коммуникаций и совместной деятельности широкого круга стейкхолдеров, при этом постоянно адаптируются под новые запросы и задачи развивающихся университетов [4–6]. Эти условия не могут не повлиять на совершенствование имущественных комплексов всех организаций высшего образования нашей страны, задавая приоритеты в целеполагании и изучении процессов управления [7].

Задача исследования объектов недвижимости в структуре имущественных комплексов университетов — формирование новых аспектов анализа этих объектов, которые позволят определить сложности и возможности в их развитии, и на данной основе спрогнозировать сценарии управления этими процессами, способствующие реализации госполитики РФ в области высшего образования^{4, 5}.

³ В России выбрали девять проектов кампусов мирового уровня // Информационное агентство ТАСС. URL: <https://tass.ru/obschestvo/16538867>

⁴ Паспорт национального проекта «Наука и университеты» // Министерство науки и высшего образования Российской Федерации. URL: <https://minobrnauki.gov.ru/upload/2021/09/%D0%9D%D0%B8%D0%A3.PDF>

⁵ Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации науки и высшего образования: Распоряжение Правительства Российской Федерации от 21.12.2021 № 3759-р // Кодекс: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/727658114>

¹ До 2030 г. в России должно появиться не менее 30 университетских кампусов мирового уровня // Ведомости. URL: https://re.vedomosti.ru/profit_place/articles/2022/02/14/909231-kak-studencheskie-kampusi-pomogut-razvivat-territorii

² Университетские кампусы и город: кооперация ради конкурентоспособности // НО Фонд «Центр стратегических разработок» (ЦСР), 2021. URL: <https://www.csr.ru/upload/iblock/3f0/kbpm276p3tau6knlzdl3d6oz0fve0e.pdf>

Практически во всех странах мира наибольшего внимания требуют государственные инвестиции, вкладываемые в объекты недвижимости различной социальной направленности, которые используются обществом в целях образования, здравоохранения, предоставления социального жилья и др. Это относится и к инвестициям в развитие тех университетов, которые функционируют преимущественно на средства государственного финансирования, дополняя их собственными доходами и средствами эндаумент-фондов [8–13]. Общеизвестно, что в мировом масштабе система финансирования высшего образования (ВО) отличается: в европейских странах стабильно значительную долю занимают государственные средства, в то время как в США, Японии, Великобритании, Южной Корее финансирование деятельности университетов является частным. В целом на поддержку систем ВО большинство стран мира тратят более 1,5 % внутреннего валового продукта.

В силу этого в проведенном исследовании основной акцент сделан на вопросах использования средств государственного бюджета, степень ответственности университетов за реализацию которых является максимальной. По мнению авторов, это позволит иметь более точное представление о возможностях развития имущественных комплексов университетов в условиях цифровизации страны в изменяющихся экономических и геополитических реалиях, когда возможно сокращение ресурсов для проведения преобразований, но вместе с тем необходимо, имея реалистичную картину, осуществлять процессы строительства и (или) реконструкции недвижимости.

Авторы исходят из того, что имущественные комплексы университетов, особенно их недвижимая часть, изменяются не так динамично, как другие элементы городской застройки (к примеру, административные здания, используемые бизнесом, жилье и др.), поэтому подходы к их исследованию ранее были достаточно консервативны и традиционны, сконцентрированы в основном на фиксации функциональных, конструктивных и объемно-планировочных характеристик. Не отрицая важность этих сведений, в проведенном исследовании авторы предприняли попытку их расширить, ориентируясь на возможности цифровизации, для более полного охвата вопросов развития недвижимости, прогноза изменений в структуре имущественных комплексов, определения новых возможностей осуществления этих процессов и рисков, связанных со спецификой строительства и реконструкции объектов недвижимости. Под рассматриваемыми *аспектами* в исследовании объектов недвижимости в структуре имущественных комплексов университетов авторы понимают исходную позицию, с которой целесообразно начинать изучение, направленность исследования и комплекс методов, которые позволяют дать

репрезентативные результаты относительно состояния и прогнозов развития объектов недвижимости.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исходная позиция, с которой целесообразно начинать исследования объектов недвижимости в структуре имущественных комплексов университетов в современных условиях, состоит в формировании репрезентативного материала и его анализа по взаимосвязанным блокам в трех направлениях, которые отражают новые аспекты рассмотрения проблематики:

- финансирование развития имущественных комплексов и результаты его использования, представленные как структура имущественных комплексов университетов;
- потребности образовательных учреждений ВО в развитии имущественных комплексов, определяемые физическим состоянием объектов и их научно-образовательной деятельностью;
- использование средств государственного бюджета, направленных на новое строительство и (или) реконструкцию недвижимости различного назначения, входящей в состав имущественных комплексов университетов.

Охарактеризуем вначале официальные источники данных, которые, как показало проведенное авторами исследование, являются весьма ограниченными. За последние годы в открытых источниках поменялась структура представления статистических данных РФ об имуществе, что не позволяет провести детальный сравнительный анализ динамики изменения показателей за большой период. Углубленная структура имущества по данным формы ВПО-2 «Сведения о материально-технической и информационной базе, финансово-экономической деятельности образовательной организации высшего образования»⁶ до 2018 г. представлена на рис. 1, начиная с 2019 г. до настоящего времени — на рис. 2.

В результате этого авторами было принято решение при проведении анализа ограничиться в основном периодом с 2019 по 2021 г. в соответствии со структурой, представленной на рис. 2, где отдельно выделены два вида объектов недвижимости: жилые здания и помещения, а также все другие объекты недвижимости, за исключением жилых. Основываясь на этой классификации объектов имущественного комплекса, определены методы получения и интерпретации показателей для исследования двух аспектов по соответствующим направлениям, связанным с недвижимостью. Для первого аспекта рассматрива-

⁶ Форма № ВПО-2 «Сведения о материально-технической и информационной базе, финансово-экономической деятельности образовательной организации высшего образования» // Минобрнауки России. URL: <https://minobrnauki.gov.ru/action/stat/highed/>



Рис. 1. Структура имущественных комплексов по данным формы ВПО-2 до 2018 г.
Fig. 1. The structure of property complexes according to the HPE-2 form until 2018



Рис. 2. Структура имущественных комплексов по данным формы ВПО-2 с 2019 г.
Fig. 2. The structure of property complexes according to the HPE-2 form since 2019

лись результаты использования выделенных средств государственного бюджета на развитие, выраженные в динамике прироста стоимости структурных элементов, и для второго — потребности в выделении средств, устанавливаемые в зависимости от физического состояния объектов в сочетании с запросами, возникающими в связи с научно-образовательной деятельностью университетов.

Еще одной важной особенностью формирования материала исследования стало получение

информации, связанной с процессами строительства и (или) реконструкции объектов недвижимости в составе имущественных комплексов университетов, которая позволяет рассмотреть третий аспект — эффективность процессов использования средств государственного бюджета, направленных на развитие недвижимости университетов. К показателям, свидетельствующим о возможных рисках неэффективности процессов использования средств государственного финансирования, относится,

в частности, объем незавершенного строительства (ОНС) объектов недвижимости [14–17]. К сожалению, информация об ОНС в открытых источниках ограничена, поэтому пока не представляется возможным провести детальный анализ всех факторов, являющихся причинами возникновения незавершенного строительства в сфере ВО. В связи с этим авторам пришлось ограничиться выявлением общих тенденций динамики ОНС в целом по РФ и по федеральным округам. Источники информации — открытые статистические данные Федеральной службы государственной статистики⁷, а также отчеты и экспертные материалы, публикуемые Счетной палатой Российской Федерации⁸. Отметим, что при переходе к цифровизации во всех сферах экономики нашей страны важно, начиная с государственного уровня, существенно преобразовать и официальную статистическую информацию, связанную с имущественными комплексами университетов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При рассмотрении результатов проведенного исследования в первом аспекте, связанном с результатами использования выделенных средств на развитие, выражаемых в динамике стоимости структурных элементов имущественного комплекса университетов, были количественно определены и сформулированы несколько тенденций, существенных для реализации госполитики РФ относительно развития системы ВО в стране. Конкретизируем это. Общеизвестно, что размер имущественного комплекса университетов напрямую связан с объемом финансирования, выделенного на его развитие. Именно на этом традиционно сконцентрировано внимание в процессе анализа — сколько направлено средств на развитие и какой достигнут объем прироста имущественного комплекса. Не отрицая справедливость этого аналитического среза, представим к рассмотрению полученные результаты: рассмотрим динамику расходов на ВО в стране за последние годы, несколько расширяя временной диапазон, охарактеризованный ранее, в целях получения наиболее репрезентативных ре-

зультатов. Для анализа использованы данные, опубликованные Высшей школой экономики⁹. Динамика расходов представлена на рис. 3.

Анализируя представленные данные, можно отметить значительный рост финансирования ВО: с 2010 по 2020 г. общее увеличение расходов на образование составило 65,7 %, а государственное финансирование ВО увеличилось на 72 %. Доля государственных расходов в общем объеме расходов на ВО — 60,7 % в 2020 г. против 59 % в 2010 г. Увеличение финансирования положительным образом сказалось на изменении величины имущественных комплексов университетов: по данным формы ВПО-2⁶ за последние годы общий объем имущества вузов вырос на 31,3 % с 1 144 150 838,3 тыс. руб. в 2015 г. до 1 502 388 980,4 тыс. рублей в 2021 г. Это позволяет говорить о первой тенденции, существенной для планирования развития университетов — с каждым годом повышается результативность использования вкладываемых средств, в том числе и в недвижимость имущественных комплексов.

Определившись с этим, авторы поставили вопрос относительно наличия или отсутствия структурных сдвигов в составе имущественного комплекса университетов. Получены следующие результаты за период 2019–2021 гг.: общий объем имущества увеличился с 1 339 908 890,5 до 1 502 388 980,4 тыс. рублей или на 12,1 %. Динамика по отдельным категориям имущества представлена на рис. 4 и в табл. 1.

Происходили определенные сдвиги в объемах каждого вида имущества в составе имущественных комплексов — практически по каждому виду наблюдается увеличение. Для анализа динамики рассматриваемых показателей были рассчитаны базисные темпы роста (по отношению к 2019 г.) (табл. 1). Наиболее быстрыми темпами шло увеличение объектов интеллектуальной собственности (на 82,5 %) и машин, оборудования и транспортных средств — на 20,4 %. Относительно недвижимой части — «жилые здания» и «здания (кроме жилых) и сооружения» также наблюдается прирост — 2,1 и 9 % соответственно. В то же время удельный вес отдельных видов имущества в общей структуре имущества практически не изменился (табл. 1).

Анализируя данные таблицы, можно констатировать незначительное снижение доли зданий и сооружений (на 1,27 процентных пункта по жилым зданиям и на 1,36 процентных пункта по зданиям, не относящимся к жилому фонду и сооружениям), а также по прочим видам имущества в составе имущественных комплексов университетов. Вместе с тем на 2,53 процентных пункта выросла доля машин, оборудования и транспортных средств. Другие изменения менее значимы. Порядок пред-

⁷ Здания и сооружения, находящиеся в незавершенном строительстве в Российской Федерации // Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/14458>

⁸ Отчет о результатах экспертно-аналитического мероприятия «Мониторинг мер, принимаемых органами исполнительной власти Российской Федерации, направленных на сокращение объемов и количества объектов незавершенного строительства, а также хода исполнения соответствующих поручений Президента Российской Федерации и Правительства Российской Федерации за 2019 год и истекший период 2020 года (с учетом информации контрольно-счетных органов субъектов Российской Федерации) // Счетная палата Российской Федерации. URL: <https://ach.gov.ru/upload/iblock/ba1/ba14764e8e85fc6088170f07aaf7b0a3.pdf>

⁹ Гохберг Л.М., Кузьмичева Л.Б., Озерова О.К., Сутырина Т.А., Шкалева Е.В., Шугаль Н.Б. Образование в цифрах: 2022 : краткий статистический сборник. М. : НИУ ВШЭ, 2022. 132 с.

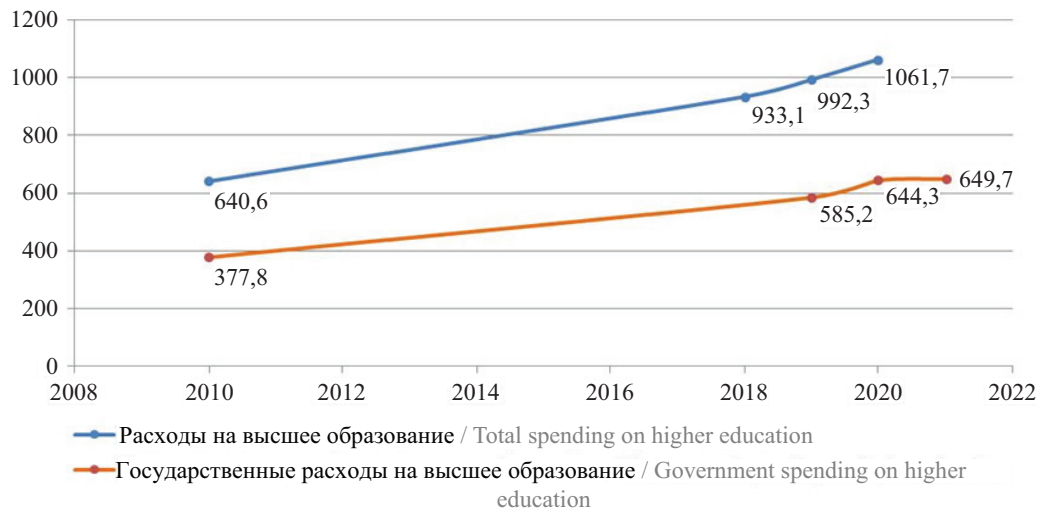


Рис. 3. Динамика расходов на высшее образование в стране, млрд руб.

Fig. 3. Dynamics of spending on higher education in the country, billion rubles

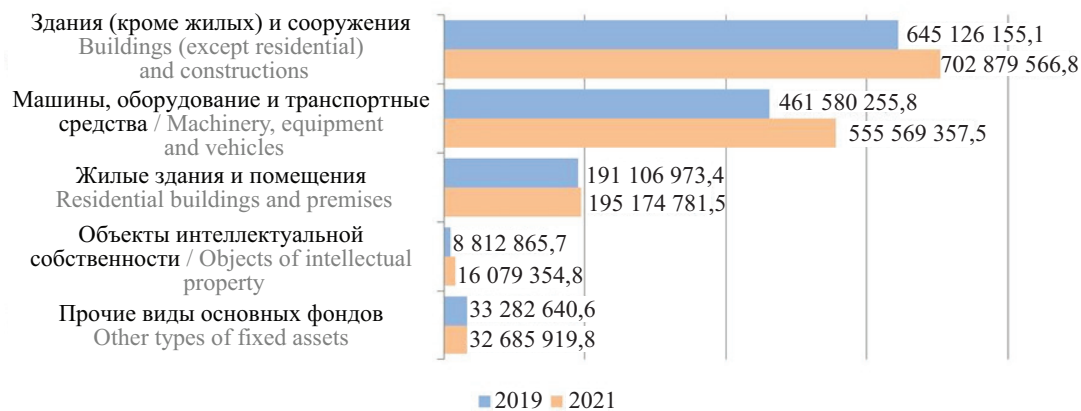


Рис. 4. Динамика отдельных видов имущественного комплекса университетов, тыс. руб.

Fig. 4. Dynamics of certain types of university property complex, thousand rubles

ставленных цифр анализа позволяет говорить относительно наличия еще одной тенденции, важной с точки зрения реализации госполитики: структура имущественных комплексов университетов достаточно стабильна, в том числе и его недвижимости. Она не является новой, но требовала проверки в процессе проведенного исследования. Структура имущества, отличающаяся стабильностью, наглядно представлена на рис. 5.

На следующем этапе изучен второй аспект — потребности в выделении средств, которые определяются в зависимости от физического состояния объектов в сочетании с запросами, возникающими в связи с научно-образовательной деятельностью университетов. Для этого вначале была определена обеспеченность образовательной деятельности университетов отдельными видами имущества в составе имущественных комплексов университетов. По данным формы ВПО-1 «Сведения об организации, осуществляющей образовательную деятельность по образовательным программам высшего образования — программам бакалавриата, програм-

мам специалитета, программам магистратуры»¹⁰ численность студентов, обучающихся в вузах по программам бакалавриата, специалитета, магистратуры в 2019 г. составляла 4 099 250 чел., а в 2021 г. — 4 079 352 чел. (снижение численности на 0,5 %). Можно констатировать, что снижение численности обучающихся в совокупности с увеличением «имущественных показателей» вузов привело к росту обеспеченности образовательной деятельности университетов имуществом (табл. 2).

Далее конкретизирован вопрос исследования относительно отдельных видов имущества в составе имущественного комплекса университетов и осуществлен их анализ. Прежде всего рассмотрены здания (включая жилые) и сооружения, на которые приходится наибольшее

¹⁰ Форма № ВПО-1 «Сведения об организации, осуществляющей образовательную деятельность по образовательным программам высшего образования — программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры» // Минобрнауки России. URL: <https://minobrnauki.gov.ru/action/stat/highed/>

Табл. 1. Сравнительный анализ структуры имущественных комплексов университетов по данным ВПО-2

Table 1. Comparative analysis of the structure of property complexes of universities according to HPE-2 form

Наименование показателя Indicator name	2019 г.		2021 г.		Темп роста 2021/2019 гг. Growth rate 2021/2019
Имущественный комплекс, всего, тыс. рублей Property complex, total, thousand rubles	1 339 908 891	100,00 %	1 502 388 980	100,00 %	1,121
Жилые здания и помещения Residential buildings and premises	191 106 973,4	14,26 %	19 517 4781,5	12,99 %	1,021
Здания (кроме жилых) и сооружения Buildings (except residential) and structures	645 126 155,1	48,15 %	702 879 566,8	46,78 %	1,090
Машины, оборудование и транспортные средства Machinery, equipment and vehicles	461 580 255,8	34,45 %	555 569 357,5	36,98 %	1,204
Объекты интеллектуальной собственности Objects of intellectual property	8 812 865,7	0,66 %	16 079 354,8	1,07 %	1,825
Прочие виды основных фондов Other types of fixed assets	33 282 640,6	2,48 %	32 685 919,8	2,18 %	0,982

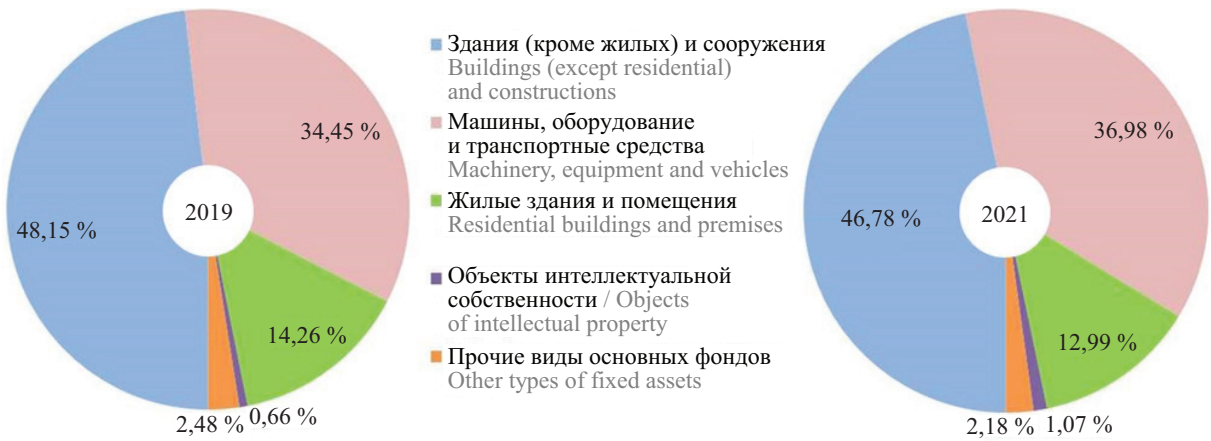


Рис. 5. Структура имущества вузов в 2019 и 2021 гг.

Fig. 5. The structure of fixed assets of universities in 2019 and 2021

шая доля стоимости всего имущества университетов. Анализ недвижимости, принадлежащей университетам, по площадям (табл. 3) позволил сделать вывод, что ни в количественном, ни в структурном отношении существенных изменений не произошло.

Учитывая, что наибольший удельный вес в структуре зданий и сооружений университетов имеют учебно-лабораторные здания, проведен более детальный анализ этих видов имущества (рис. 6). Сравнение данных по 2019 и 2021 гг. показывает отсутствие сколько-нибудь структурных значимых изменений. Однако за 10-летний период можно констатировать существенные структурные сдвиги: по сравнению с 2010 г. доля учебных площадей уменьшилась на 12,3 % при одновременном увеличении других категорий помещений. Такие изменения могут быть объяснены, в частности, переходом большого количества вузов к практико-ориентиро-

ванному обучению, а также активизацией научно-исследовательской деятельности. Таким образом, вероятно еще одна тенденция, непосредственно связанная с недвижимостью, — в среднесрочном временном интервале наблюдается прирост объектов недвижимости, функциональным назначением которых является их использование для научно-исследовательской деятельности, что определяет необходимость ориентации на соответствующие конструктивные и объемно-планировочные решения при строительстве и (или) реконструкции недвижимости, которые зависят от размещаемого в них оборудования.

Перейдем к результатам анализа состояния зданий и сооружений, которые наряду с потребностями образовательной и научно-исследовательской деятельности влияют на потребность в обновлении недвижимой части имущественных комплексов университетов. Следует отметить, что, несмотря

Табл. 2. Наличие отдельных видов имущества в расчете на одного студента, тыс. руб.
Table 2. Availability of certain types of property per student, thousand rubles

Наименование показателя Indicator name	2019 г.	2021 г.	Темп роста 2021/2019 гг. Growth rate 2021/2019
Основные фонды, всего Fixed assets, total	326,867	368,291	1,127
В том числе: жилые здания и помещения Including: residential buildings and premises	46,620	47,845	1,026
здания (кроме жилых) и сооружения buildings (except residential) and constructions	157,377	172,302	1,095
машины, оборудование и транспортные средства machinery, equipment and vehicles	112,601	136,191	1,209
в том числе: транспортные средства including: vehicles	5,194	5,908	1,138
информационное, компьютерное и телекоммуникационное оборудование information, computer and telecommunication equipment	29,403	35,331	1,202
в том числе: компьютеры и периферийное оборудование including computers and peripheral equipment	17,057	21,034	1,233
прочие машины и оборудование, включая хозяйственный инвентарь, и другие объекты other machinery and equipment, including utility inventory and other items	78,004	94,951	1,217
объекты интеллектуальной собственности objects of intellectual property	2,150	3,942	1,833
из них: научные исследования и разработки including: research and development	0724	1125	1,555
программное обеспечение, базы данных software, databases	0,804	2,141	2,662
оригиналы произведений развлекательного жанра, литературы и искусства original works of entertainment genre, literature and art	0,152	0,197	1,298
прочие виды основных фондов other types of fixed assets	8,119	8,013	0,987

Табл. 3. Наличие и использование площадей зданий и сооружений университетов
Table 3. Availability and utilization of space in university buildings and facilitie

Наименование показателя Indicator name	2019 г.		2021 г.		Темп роста 2021/2019 гг. Growth rate 2021/2019
Общая площадь зданий (помещений), всего, м² Total area of buildings (premises), square metres	63 451 916	100,00 %	64 073 699	100,00 %	1,010
В том числе: учебно-лабораторных зданий Including: educational and laboratory buildings	42 098 135	66,35 %	42 002 727	65,55 %	0,998
общежитий hostels	15 481 722	24,40 %	15 854 889	24,74 %	1,024
прочих зданий other buildings	5 872 059	9,25 %	6 216 083	9,70 %	1,059

Окончание табл. 1 / End of the Table 1

Наименование показателя Indicator name	2019 г.		2021 г.		Темп роста 2021/2019 гг. Growth rate 2021/2019
Число учебных мест в лабораториях Number of study places in laboratories	772 762	–	799 107	–	1,034
Число учебных (рабочих) мест в учебно-производственных помещениях (мастерских, полигонах, технодромах, учебных цехах и т.п.) The number of educational (working) places in educational and industrial premises (workshops, training grounds, technodromes, training workshops, etc.)	252 704	–	256261	–	1,014

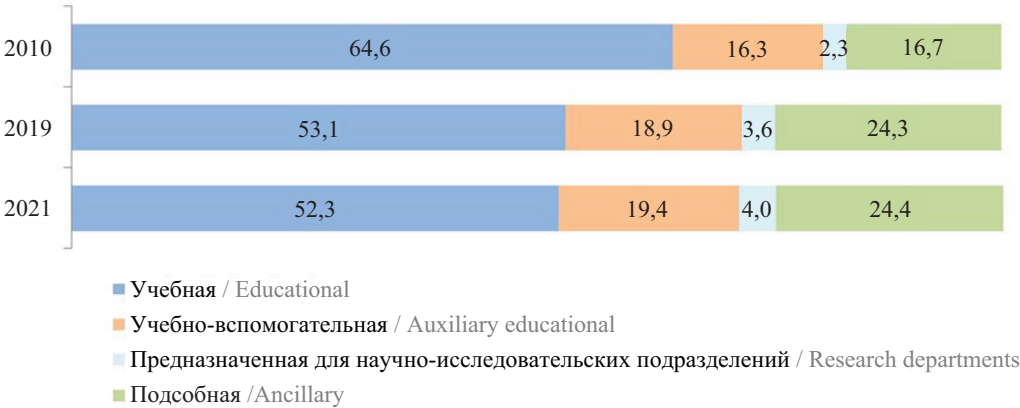


Рис. 6. Структура учебно-лабораторных зданий в составе имущественных комплексов университетов, %
Fig. 6. The structure of educational and laboratory buildings within the university property complexes, %

на общую положительную динамику увеличения площадей объектов недвижимости, значительная часть зданий и сооружений эксплуатируется в течение длительного времени, что приводит к их износу и необходимости проведения ремонтов и реконструкции, а в ряде случаев потребности в новом строительстве. Установлена еще одна тенденция нарастания износа уже эксплуатируемых зданий и сооружений, которая требует увеличения объемов финансирования на их воспроизводство. Текущих объемов финансирования из средств государственного бюджета этих мероприятий пока недостаточно.

Динамика помещений, требующих капитального ремонта (реконструкции) и находящихся в аварийном состоянии, выявленная в результате проведенного анализа, приведена на рис. 7, 8.

Детальный анализ приведенных данных показывает значительное нарастание износа: так, площадь зданий, требующих капитального ремонта (реконструкции) за период с 2010 по 2020 г., увеличилась на 6146,8 тыс. м² или на 97,3 %, а находящихся в аварийном состоянии зданий и сооружений увеличилась на 167,4 тыс. м² (42,3 %). По отдельным категориям помещений негативная динамика еще выше.

Поэтому был рассмотрен третий аспект анализа, связанный с эффективностью использования средств

государственного бюджета, направленных на развитие недвижимости университетов. При этом учитывалось, что в любой стране мира вложения в объекты недвижимости требуют не только существенных средств, но и продолжительного периода реализации, что очевидным образом сопряжено с проблемами и рисками, предполагающими в современных условиях более тщательное изучение. Определенной методической сложностью, которая, по мнению авторов, несущественно влияет на результаты, является использование органами государственной статистики страны агрегированных данных по всем объектам недвижимости РФ, получающим деньги из средств государственного бюджета.

Анализ объектов строительства, на которые были выделены средства государственного бюджета, в состав которых входят и объекты недвижимости университетов страны, начался с исследования показателей динамики количества зданий и сооружений в долгосрочном периоде, находящихся в незавершенном строительстве¹¹, с выделением в отдельную категорию приостановленных и законсервированных объек-

¹¹ Здания и сооружения, находящиеся в незавершенном строительстве в Российской Федерации // Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/14458>

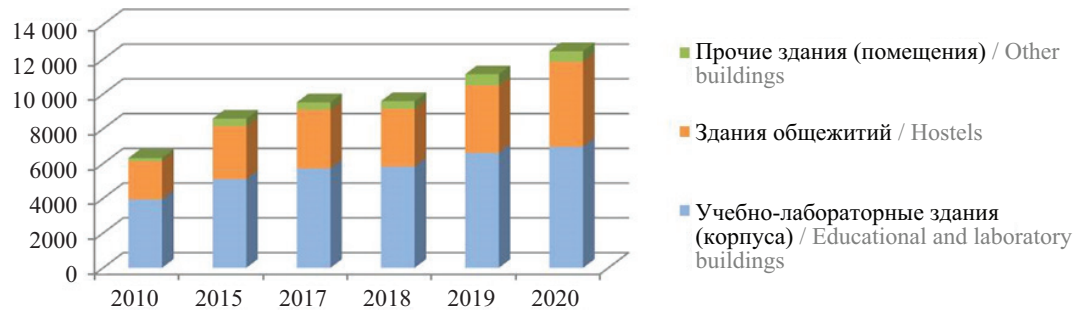


Рис. 7. Площади помещений, требующих капитального ремонта (реконструкции), тыс. м²
Fig. 7. Areas of premises requiring major repairs (reconstruction), thousand square metres

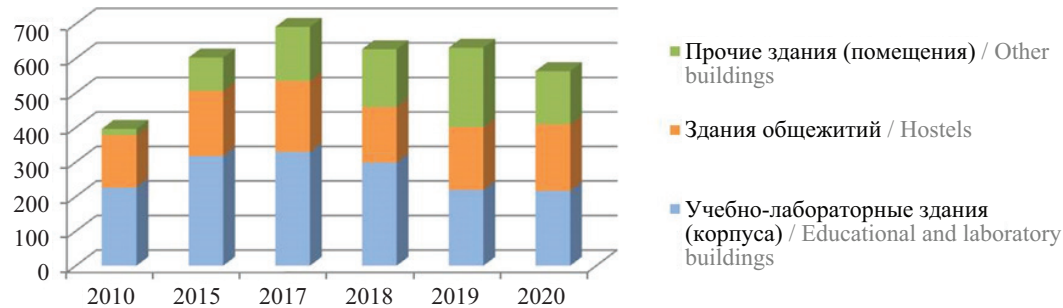


Рис. 8. Площади помещений, находящихся в аварийном состоянии, тыс. м²
Fig. 8. Areas of premises in emergency condition, thousand square metres

тов (рис. 9). Наблюдается положительная устойчивая тенденция к снижению данных показателей, при этом уменьшение числа приостановленных или законсервированных объектов идет более высокими темпами: среднегодовое снижение составляет почти 11 % (среднегодовой коэффициент роста 0,891), в то время как в целом по объектам незавершенного строительства среднее снижение составляет около 4 % (среднегодовой коэффициент роста 0,962).

Следует отметить, что в результате исследования было установлено, что выборка разнородна в плане степени готовности объектов и почти треть (29 %) общего количества объектов недвижимости, попавших в выборку, являются не уже создаваемыми в натуре объектами капитального строительства, а затратами на проведение изыскательских работ, разработку проектной документации и др. То есть эффективность процессов использования средств государственного бюджета, направленных на развитие недвижимости университетов, сопряжена еще и с рисками, связанными с прохождением «бумажного» этапа, предшествующего непосредственно возведению объектов.

Полученные в исследовании результаты показали, что в целом рост недвижимости в составе имущественных комплексов университетов, наблюдаемый в настоящее время, стабилен; показатели, связанные с процессами его создания и использования, улучшаются, но обоснованно говорить об их соответствии принципам устойчивого развития еще сложно. Требуется качественное преобразование

как информационной основы, так и организации управления процессами развития имущественных комплексов университетов, в том числе и недвижимости в их составе, которые позволят обеспечить полноценную реализацию приоритетов госполитики РФ в области высшего образования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

На предлагаемом к обсуждению уровне решения проблемы реализации госполитики РФ относительно развития имущественных комплексов в системе ВО в стране представляется важным обеспечить взаимодействие всех заинтересованных в этом сторон исходя из ряда положений, которые ориентированы в условиях цифровизации на получение дополнительных резервов для перехода к устойчивому развитию вузов в нашей стране.

Государственным органам необходимо обеспечить весь комплекс информации статистического характера, которая позволит всесторонне рассматривать процессы развития объектов недвижимости социального назначения на уровне официальной государственной статистики, диапазон данных в составе которой в условиях цифровизации может быть расширен. В настоящее время на рассмотренном примере можно видеть недостаточность информации как с точки зрения выделения для анализа конкретных видов эксплуатируемых объектов недвижимости (к примеру, объектов недвижимости в составе

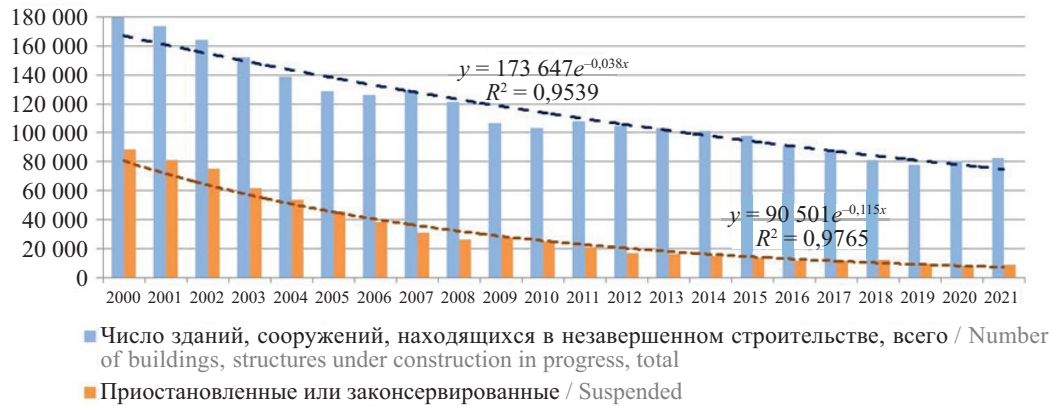


Рис. 9. Число зданий и сооружений, находящихся в незавершенном строительстве в РФ

Fig. 9. Number of buildings and structures under construction in progress in the Russian Federation

имущественных комплексов университетов), так и с точки зрения качества данных, которые дают возможность провести полноценную оценку текущей и прогнозируемой ситуации. При формировании материалов для исследования авторы столкнулись именно с этими трудностями: отсутствием возможности в одном месте получить всеобъемлющую информацию о процессах, связанных с недвижимостью определенного вида; изменением учетных регистров, которые используются для учета состояния недвижимости; ограниченным количеством показателей, по которым осуществляется учет, сужающих возможности полноценного анализа.

Иначе говоря, целесообразно создание единого информационного ресурса страны, основанного на постоянном мониторинге, который содержал бы полную и достоверную информацию об объеме и количестве строящихся и (или) реконструируемых объектов недвижимости определенной подведомственности, финансируемых из средств государственного бюджета, в том числе о сроках реализации инвестиционных проектов и мероприятий, которые должны осуществляться заказчиками и органами государственной власти применительно к строящемуся объекту. В РФ на уровне рекомендаций Минэкономразвития¹² предусматривается несколько вариантов мероприятий, но при этом отнесение к определенному варианту объекта недвижимости происходит преимущественно на основе экспертных мнений, всегда заключающих элементы субъективности. Предусматриваются такие варианты относительно ОНС: завершение строительства (реконструкции), консервация, продажа, передача другим владельцам, передача в собственность субъ-

ектов РФ либо муниципалитетам, передача в концессию, списание и снос. Именно такого рода информации не хватало в проведенном исследовании для разработки методических предложений по формированию достоверных прогнозов относительно развития объектов недвижимости, входящих в состав имущественных комплексов университетов.

Необходимо установление единых в масштабе страны правил контроля хода строительства и (или) реконструкции объектов недвижимости, на которые уже выделены средства государственного бюджета, представляющиеся особо ответственным. Главным их назначением должно являться прогнозирование и предупреждение возникновения объектов незавершенного строительства. Отправным моментом служит формирование единой классификации объектов недвижимости с учетом степени их готовности, которая позволит сопоставлять получаемые в результате мониторинга данные и формировать более точные прогнозы относительно сроков завершения работ. В настоящее время предложено значительное количество классификаций объектов недвижимости, по которым авторы не дискутируют. Но хотели бы предложить в обязательном порядке ввести регистры учета состояния строящихся объектов, по которым они могут быть отнесены к определенной категории с позиций перспектив дальнейших действий с ними. Для обеспечения этого надо осуществлять оценку документации по объекту недвижимости и при необходимости использовать инструментальное обследование физических объемов зданий и сооружений по единым для всех объектов технологиями. Важно идентифицировать актуальность документации, а на ее основе — потребность (или ее отсутствие) повторного проведения технического обследования объекта, инженерных изысканий, мероприятий по уточнению технических условий строительства и иных выполненных работ, результаты которых имеют регламентированный срок действия. При обнаружении рисков затягивания строительства следует спрогнозировать допол-

¹² О рекомендуемой форме плана главного распорядителя средств федерального бюджета по снижению объемов и количества объектов незавершенного строительства и рекомендациях по его подготовке : письмо Минэкономразвития РФ от 06.03.2017 № 5575-ЕЕ/Д17и. URL: <https://base.garant.ru/71792754/>

нительные объемы строительно-монтажных работ по восстановлению вышедших из строя конструктивных частей объекта, что и определит возможные варианты относительно решений по ОНС в прогнозном периоде. Немаловажной частью сбора информации об объекте также будет фиксация сведений об основных причинах несоблюдения сроков выполнения работ на объекте с отнесением их к определенным группам риска дальнейшего завершения строительства (реконструкции) объекта в случае принятия такого решения. К примеру, в целом ряде источников относительно ситуации в нескольких странах сообщается о формировании исследователями, как правило, от 42 до 50 возможных факторов задержки и остановок реализации проектов [18–22].

Существующие на сегодняшний день рейтинги, оценивающие эффективность функционирования как отдельных университетов, так и национальных систем образования в целом, учитывают главным образом показатели, характеризующие образовательную и научную деятельность. Достаточно подробно проблемы высшего образования освещаются Организацией экономического сотрудничества и развития (ОЭСР)¹³. В рамках этой организации функционирует Комитет по политике в области образования, который проводит анализ широкого круга вопросов, выявляющих как общие тенденции в сфере ВО, так и особенности реализации отдельных национальных образовательных политик. Однако главное внимание уделяется либо непосредственно образовательным аспектам, либо вопросам финансирования. Показатели, характеризующие качество управления имущественным комплексом и отдельными видами имущества, как правило, не рассматриваются или рассматриваются только в части финансирования. В качестве примера можно привести Рейтинг национальных систем высшего образования (U21 Ranking of National Higher Education Systems)¹⁴ — глобальное исследование и сопровождающий его рейтинг, измеряющий достижения стран мира в сфере высшего образования. Исследование проводится ежегодно с 2012 г. в рамках глобального проекта международной сети университетов Universitas 21 (U21), в которую входят университеты из 17 стран мира. Рейтинг рассчитывается по методике Института прикладных экономических и социальных исследований Университета Мельбурна, Австралия, и оценивает национальные системы ВО по 24 основным показателям, объединенным в четыре группы:

1) ресурсы (инвестиции со стороны частного и государственного секторов) — 25 %;

2) результаты (научные исследования, научные публикации, соответствие высшего образования потребностям национального рынка труда, включая последующее трудоустройство выпускников учебных заведений) — 40 %;

3) связи (уровень международного сотрудничества, который демонстрирует степень открытости или замкнутости системы высшего образования) — 10 %;

4) среда (государственная политика и регулирование, возможности получения образования) — 25 %.

Вместе с тем, по мнению авторов, эффективность использования имущественного комплекса является одной из существенных составляющих, определяющих устойчивое развитие вузов, которая в настоящее время не получила достаточного обоснования в научных исследованиях, а также обобщения и систематизации накопленного практического опыта.

В этой связи отметим, что принятие обоснованных управленческих решений, направленных на реализацию госполитики РФ в области ВО, должно базироваться на статистических данных Data Driven Decision Making, представляющих собой ключевое отличие цифровой экономики.

Первым шагом к реализации такого подхода должно стать создание трехуровневой информационной системы, содержащей всю необходимую информацию.

Первый уровень — уровень университета. Данная информационная система должна содержать сведения о каждом из объектов имущественного комплекса. В отличие от традиционной системы управленческого и бухгалтерского учета, ведущих учет преимущественно в стоимостном выражении, предлагаемая информационная система (ИС) должна детально описывать состояние объекта в терминах его технических характеристик, энергоэффективности, эффективности использования и т.п.

Второй уровень — национальный, позволяющий оценить эффективность управления университетскими имущественными комплексами на уровне муниципальных образований и отдельных территорий страны.

Третий уровень должен обеспечивать возможность проведения межстрановых сравнений, дополняя тем самым существующие рейтинги.

Разработка конкретного набора показателей, достаточных для оценки эффективности управления имуществом, и структуры предлагаемой ИС видится в качестве одного из основных направлений дальнейшего развития проводимых авторами исследований.

Формально процесс создания предлагаемой информационной системы можно проиллюстрировать с использованием диаграммы IDEF0¹⁵ (рис. 10).

¹³ Организация экономического сотрудничества и развития. URL: <https://www.oecd.org/education/higher-education-policy/>

¹⁴ Рейтинг национальных систем высшего образования (U21 Ranking of National Higher Education Systems). URL: <https://gtmarket.ru/ratings/u21-ranking-of-national-higher-education-systems>

¹⁵ Р 50.1.028–2001. Рекомендации по стандартизации «Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования». URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200028629>

Опишем более подробно шаги данного процесса, ограничившись пока созданием двухуровневой системы (на локальном и национальном уровнях).

1. Организации, курирующие ВО, на основе законодательной и нормативной документации (как в сфере высшего образования, так и в строительной сфере) разрабатывают систему показателей, позволяющую всесторонне оценить состав и состояние объектов недвижимости в составе университетских комплексов, а также эффективность управления.

2. Исходя из сформированной системы показателей, организации, курирующие ВО, готовят методические рекомендации по сбору необходимой информации, ее внесению в ИС и формированию отчетов. Разработанные инструкции будут выступать в качестве элементов управления на последующих шагах.

3. Перечень показателей является также основой для разработки структуры базы данных проектируемой ИС. В целях унификации предоставляемой информации, а также с учетом возможности дальнейшего интегрирования разрабатываемой системы в другие ГИС, целесообразно поручить разработку в государственные структуры, обеспечивающие процессы цифровизации.

4. На основании предоставленных организациями, курирующими ВО, методических рекомендаций вузы организуют работу по сбору информации, необходимой для заполнения базы данных.

5. Разработанный программный продукт передается вузам для внесения первичной статистической информации об объектах недвижимости.

6. Структурированные и систематизированные данные являются основой для подготовки отчетов. Формирование отчетности происходит первоначально на уровне отдельных вузов, затем по областям и федеральным кругам и далее обобщается на уровне государства. Отчетная информация может использоваться для принятия управленческих решений, а также как инструмент обратной связи для корректировки перечня показателей и разработанной ИС.

Разработка ИС для оценки состояния объектов недвижимости в составе имущественных комплексов университетов — сложный многоступенчатый процесс, верхний уровень описания которого представлен на рис. 10. В свою очередь, каждый из представленных блоков допускает дальнейшую декомпозицию и детализацию с учетом региональных особенностей

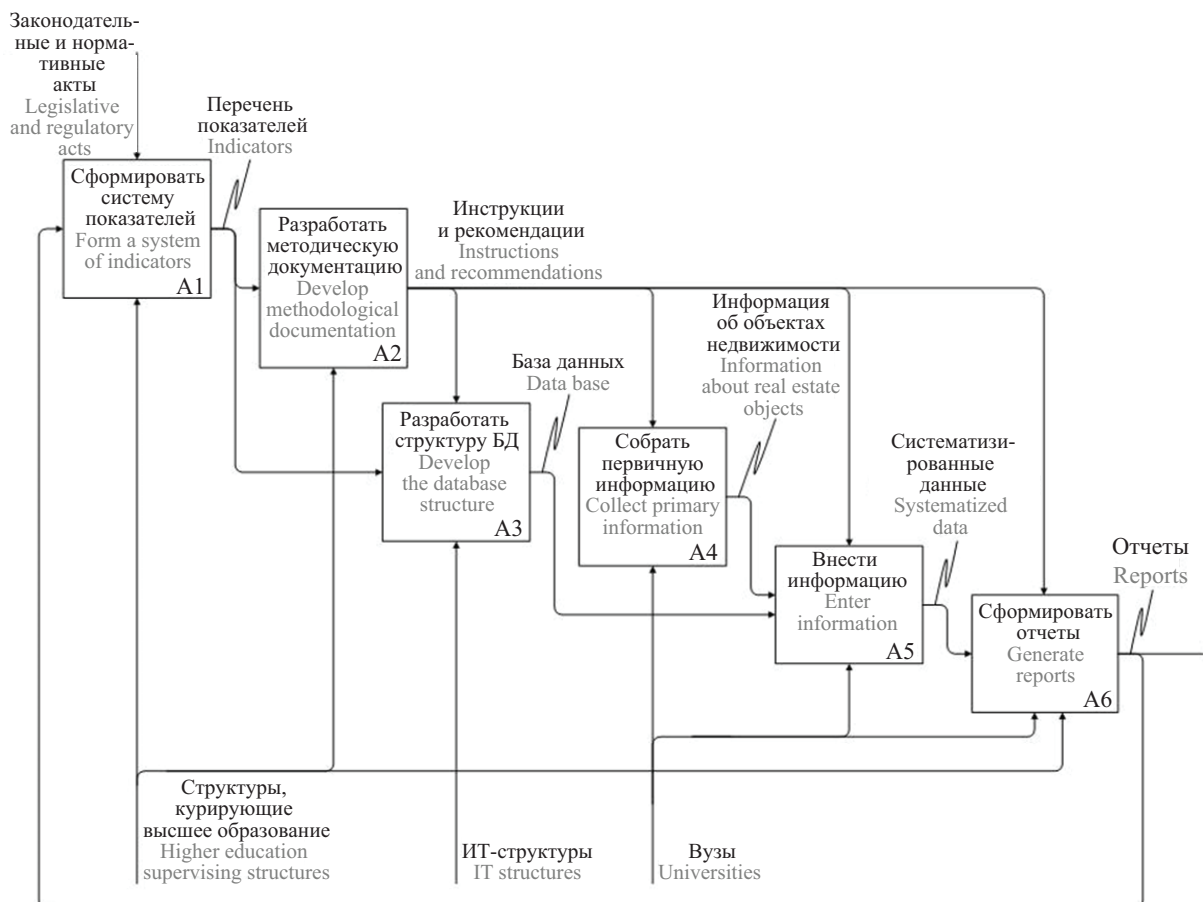


Рис. 10. Разработка ИС для оценки состояния объектов недвижимости в составе университетских имущественных комплексов

Fig. 10. Development of IS to assess the state of real estate objects within university property complexes

и приоритетов реализации госполитики РФ на соответствующем этапе развития системы ВО.

Информация о состоянии и использовании объектов недвижимости вузов, получаемая на основе предлагаемой ИС, прежде всего, может быть использована для принятия управленческих решений внутри университетов для повышения эффективности их деятельности. Кроме того, она может служить основанием для расширения перечня показателей, применяемых для построения рейтингов университетов как внутри страны, так и на международном уровне. Эта информация может и должна использоваться при решении вопросов о распределении средств государственного финансирования ВО с учетом обеспечения максимальной эффективности функционирования системы высшего образования в целом.

В современных условиях деятельности российских вузов возникает объективная необходимость совершенствования информационной базы анализа и принятия решений, связанных с устойчивым раз-

витием имущественных комплексов университетов в контексте реализации приоритетов государственной политики РФ в области ВО. Особую роль в составе имущественных комплексов университетов занимает недвижимость, тенденции развития которой на протяжении последних десяти лет свидетельствуют о постоянстве доли этих объектов в структуре имущества вузов, постепенном увеличении их объема в стоимостном и физическом измерении, которые сопровождаются нарастанием износа объектов недвижимости на фоне присутствия определенной доли объектов незавершенного строительства, финансируемых из средств государственного бюджета. В этой связи авторами сформированы предложения по совершенствованию взаимодействия всех заинтересованных сторон, начиная с государственного уровня, которые ориентированы на получение дополнительных резервов для перехода к устойчивому развитию имущественных комплексов университетов в условиях цифровизации.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Zhang Q., Wang Y., Liang R. Comparison and optimization suggestion for campus system of U.S. and China green building evaluation standards // Journal of Xi'an University of Architecture & Technology. 2017. Vol. 49. Issue 3. Pp. 416–421. DOI: 10.15986/j.1006-7930.2017.03.016

2. Farag A.A., Doheim R.M. Rating sustainability at Effat University-Towards a Green Campus // The Second Memareyat International Conference (MIC 2018), Architecture and Urban Resiliency. Jeddah, KSA, 2018.

3. Tan H., Chen S., Shi Q., Wang L. Development of green campus in China // Journal of Cleaner Production. 2014. Vol. 64. Pp. 646–653. DOI: 10.1016/j.jclepro.2013.10.019

4. Елисеев А.М., Подопригора 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. DOI: 10.17223/19988648/49/16. EDN IFLTZE.

5. Пучков М.В. Университетский кампус: взаимосвязи образовательных технологий и моделей формирования архитектурного пространства // Университетское управление: практика и анализ. 2021. Т. 25. № 4. С. 109–119. DOI: 10.15826/umpra.2021.04.039

6. Широкова О.Л., Павлюк А.С. Формирование структуры современного кампуса // Строительство и архитектура. 2022. Т. 10. № 1 (34). С. 105–109.

7. Федотова М.А., Беляева И.Ю., Лосева О.В., Калачев Д.Н., Кухтин П.В., Пухова М.М. и др. Развитие системы управления имущественным комплек-

сом университетских кампусов: лучшие российские и зарубежные практики. М. : Русайнс, 2017. 144 с. EDN ZASETD.

8. Овчинникова О.П., Овчинникова Н.Э. Финансирование высшего образования в развитых странах и России: анализ современных тенденций // Бухгалтерский учет в бюджетных и некоммерческих организациях. 2018. № 6. С. 33–42.

9. Мартино Д.М., Ткач Г.Ф., Коваленко С.А. Современные тенденции государственного финансирования высшего образования // Высшее образование в России. 2020. Т. 29. № 3. С. 136–152. DOI: 10.31992/0869-3617-2020-29-3-136-152

10. Дмитриенко А.С. Обзор моделей финансирования высшего образования: механизмы доведения средств и роль государства // Вопросы государственного и муниципального управления. 2023. № 2. С. 146–171. DOI: 10.17323/1999-5431-2023-02-146-171

11. Bugaia L. Reconsideration of financing Higher Education Institutions at international and national level // Journal of Social Sciences. 2020. Vol. 3. Issue 4. Pp. 6–16. DOI: 10.5281/zenodo.4296200

12. De Boer H., Jongbloed B., Benneworth P., Cremonini L., Kolster R., Kottmann A. et al. Performance-based funding and performance agreements in fourteen higher education systems. University of Twente, Center for Higher Education Policy Studies, 2015.

13. Dougherty K.J., Natow R.S. Performance-based funding for higher education: how well does neoliberal theory capture neoliberal practice? // Higher Education. 2020. Vol. 80. Issue 3. Pp. 457–478. DOI: 10.1007/s10734-019-00491-4

14. Панкратов О.Е., Панкратов Е.П. Проблемы незавершенного строительства и пути его сокращения // Экономика строительства. 2020. № 5 (65). С. 3–13. EDN BIVGHP.
15. Евтеев Д.А. Понятие и признаки объектов незавершенного строительства // Молодой ученый. 2021. № 53 (395). С. 61–64. EDN XTOOOG.
16. Pankratov E., Grabovy K. Greater role of depreciation in innovative development of construction business production potential // MATEC Web of Conferences. 2017. Vol. 106. P. 08070. DOI: 10.1051/matec-conf/201710608070
17. Shane J.M. Abandoned buildings and lots // Problem-Oriented Guides for Police. Problem-Specific Guides Series. 2012. No. 64. Pp. 1–69.
18. Alsuliman J.A. Causes of delay in Saudi public construction projects // Alexandria Engineering Journal. 2019. Vol. 58. Issue 2. Pp. 801–808. DOI: 10.1016/j.aej.2019.07.002
19. Hossain M.A., Raiymbekov D., Nadeem A., Kim J.R. Delay causes in Kazakhstan's construction projects and remedial measures // International Journal of Construction Management. 2022. Vol. 22. Issue 5. Pp. 801–819. DOI: 10.1080/15623599.2019.1647635
20. Kog Y.C. Construction Delays in Indonesia, Malaysia, Thailand, and Vietnam // Practice Periodical on Structural Design and Construction. 2019. Vol. 24. Issue 3. DOI: 10.1061/(ASCE)SC.1943-5576.0000434
21. Орлова С.Ю. Незавершенное строительство и недостатки государственного управления // Эксперт. 2020. № 25 (1166).
22. Курочкина В.А. Влияние объектов незавершенного строительства и промышленных территорий на геоэкологию городов и развитие депрессивных пространств // Вестник Евразийской науки. 2020. № 6. DOI: 10.15862/36NZVN620

Поступила в редакцию 13 августа 2023 г.

Принята в доработанном виде 17 августа 2023 г.

Одобрена для публикации 17 августа 2023 г.

ОБ АВТОРАХ: **Наталья Григорьевна Верстина** — доктор экономических наук, профессор, заведующая кафедрой менеджмента и инноваций; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 287560, Scopus: 6506229832, ORCID: 0000-0003-1152-8129, ResearcherID: B-4162-2016; verstinang@mgsu.ru;

Сергей Седракович Игитхиян — соискатель, кафедра менеджмента и инноваций; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; sergo_071287@mail.ru;

Ольга Феликсовна Цуверкалова — кандидат экономических наук, доцент кафедры информационных и управляющих систем; **Волгодонский инженерно-технический институт — филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»**; 347360, Ростовская обл., г. Волгодонск, ул. Ленина, д. 73/94; SPIN-код: 9845-8858, ORCID: 0000-0001-6304-4498, Scopus: 57205728266, ResearcherID: J-8183-2016; oftzuverkalova@mephi.ru.

Вклад авторов:

Верстина Н.Г. — научное руководство, руководство в постановке вопросов исследования, концепция исследования, разработка методологического подхода к исследованию, написание введения, итоговые выводы.

Игитхиян С.С. — анализ полученных данных и их описание, определение проблемных вопросов и формулировка позиций для дискуссии, написание текста.

Цуверкалова О.Ф. — сбор статистической информации, обработка данных и составление графиков зависимостей, функциональное моделирование, литературный обзор и написание текста.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Zhang Q., Wang Y., Liang R. Comparison and optimization suggestion for campus system of U.S. and China green building evaluation standards. *Journal of Xi'an University of Architecture & Technology*. 2017; 49(3):416-421. DOI: 10.15986/j.1006-7930.2017.03.016
2. Farag A.A., Doheim R.M. Rating sustainability at Effat University-Towards a Green Campus. *The Second Memareyat International Conference (MIC 2018), Architecture and Urban Resiliency*. Jeddah, KSA, 2018.
3. Tan H., Chen S., Shi Q., Wang L. Development of green campus in China. *Journal of Cleaner Production*. 2014; 64:646-653. DOI: 10.1016/j.jclepro.2013.10.019
4. Eliseev A.M., Podoprighora Yu.V., Zakharova T.V. Campuses of the future in university cities in Russia and France in the context of the digital econ-

omy, innovation and a barrier-free environment. *Bulletin of Tomsk State University. Economics*. 2020; 49: 225-235. DOI: 10.17223/19988648/49/16. EDN IFLTZE. (rus.).

5. Puchkov M.V. University campus: Interrelations of educational technologies and models of architectural space formation. *University Management: Practice and Analysis*. 2021; 25(4):109-119. DOI: 10.15826/umpa.2021.04.039 (rus.).

6. Shirokova O.L., Pavlyuk A.S. Forming the structure of a modern campus. *Construction and Architecture*. 2022; 10(1):105-109. (rus.).

7. Fedotova M.A., Belyaeva I.Yu., Loseva O.V., Kalachev D.N., Kukhtin P.V., Pukhova M.M. et al. *Development of the management system for the property complex of university campuses: the best Russian and foreign practices*. Moscow, Rusajns, 2017; 144. EDN ZASETD. (rus.).

8. Ovchinnikova O.P., Ovchinnikova N.E. Financing of higher education in developed countries and Russia: an analysis of current trends. *Accounting in Budgetary and non-profit Organizations*. 2018; 6:33-42. (rus.).

9. De Martino M., Tkach G.F., Kovalenko S.A. Modern trends in public funding of higher education. *Higher Education in Russia*. 2020; 29(3):136-152. DOI: 10.31992/0869-3617-2020-29-3-136-152 (rus.).

10. Dmitrienko A.S. Review of higher education financing models: Funding mechanisms and the role of the state. *Public Administration Issues*. 2023; 2:146-171. DOI: 10.17323/1999-5431-2023-0-2-146-171 (rus.).

11. Bugaian L. Reconsideration of financing Higher Education Institutions at international and national level. *Journal of Social Sciences*. 2020; 3(4):6-16. DOI: 10.5281/zenodo.4296200

12. De Boer H., Jongbloed B., Benneworth P., Cremonini L., Kolster R., Kottmann A. et al. *Performance-based funding and performance agreements in fourteen higher education systems*. University of Twente, Center for Higher Education Policy Studies, 2015.

13. Dougherty K.J., Natow R.S. Performance-based funding for higher education: how well does neoliberal theory capture neoliberal practice? *Higher Education*. 2020; 80(3):457-478. DOI: 10.1007/s10734-019-00491-4

14. Pankratov O.E., Pankratov E.P. Problems of unfinished construction and ways to reduce it. *Construction Economics*. 2020; 5(65):3-13. EDN BIVGHP. (rus.).

15. Evteev D.A. The concept and signs of construction in progress. *Young Scientist*. 2021; 53(395): 61-64. EDN XTOOOG. (rus.).

16. Pankratov E., Grabovy K. Greater role of depreciation in innovative development of construction business production potential. *MATEC Web of Conferences*. 2017; 106:08070. DOI: 10.1051/mateconf/201710608070

17. Shane J.M. Abandoned buildings and lots. *Problem-Oriented Guides for Police. Problem-Specific Guides Series*. 2012; 64:1-69.

18. Alsuliman J.A. Causes of delay in Saudi public construction projects. *Alexandria Engineering Journal*. 2019; 58(2):801-808. DOI: 10.1016/j.aej.2019.07.002

19. Hossain M.A., Raiymbekov D., Nadeem A., Kim J.R. Delay causes in Kazakhstan's construction projects and remedial measures. *International Journal of Construction Management*. 2022; 22(5):801-819. DOI: 10.1080/15623599.2019.1647635

20. Kog Y.C. Construction Delays in Indonesia, Malaysia, Thailand, and Vietnam. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*. 2019; 24(3). DOI: 10.1061/(ASCE)SC.1943-5576.0000434

21. Orlova S.Yu. Construction in progress and shortcomings of public administration. *Expert*. 2020; 25(1166). (rus.).

22. Kurochkina V.A. The impact of long-term construction subjects and industrial areas on the geology of cities and development of depressed urban spaces. *The Eurasian Scientific Journal*. 2020; 6. DOI: 10.15862/36NZVN620 (rus.).

Received August 13, 2023.

Adopted in revised form on August 17, 2023.

Approved for publication on August 17, 2023.

BIONOTES: **Natalya G. Verstina** — Doctor of Economic Sciences, Professor, Head of the Department of Management and Innovations; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 287560, Scopus: 6506229832, ORCID: 0000-0003-1152-8129, ResearcherID: B-4162-2016; verstinang@mgsu.ru;

Sergey S. Igithkanyan — applicant, Department of Management and Innovations; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; sergo_071287@mail.ru;

Olga F. Tsuverkalova — Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Information and Control Systems; **Volgodonsk Engineering and Technology Institute — branch of the National Research Nuclear University MEPhI**; 73/94 Lenina st., Volgodonsk, 347360, Rostov region, Russian Federation; SPIN-code: 9845-8858, ORCID: 0000-0001-6304-4498, Scopus: 57205728266, ResearcherID: J-8183-2016; ofttsuverkalova@mephi.ru.

Authors' contribution:

Natalya G. Verstina — scientific guidance, leadership in the formulation of research questions, the concept of research, the development of a methodological approach to research, writing an introduction, final conclusions.

Sergey S. Igitkhanyan — analysis of the data obtained in the study and their description in the form of presenting the results, identifying problematic issues for discussion and formulating positions for discussion, writing the text.

Olga F. Tsuverkalova — collection of statistical information, data processing and plotting of dependencies, functional modeling, literature review and text writing.

The authors declare no conflict of interest.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ НАУЧНОЙ СТАТЬИ

Текст статьи набирается в файлах в формате .docx.

СТРУКТУРА НАУЧНОЙ СТАТЬИ

Научная статья должна состоять из следующих структурных элементов: заголовок, список авторов, аннотация, ключевые слова, основной текст, сведения об авторах, список источников.

Заголовок, список авторов, аннотация, ключевые слова, список источников указываются последовательно на русском и английском языках.

Заголовок к статье должен соответствовать основному содержанию статьи. Заголовок статьи должен кратко (не более 10 слов) и точно отражать объект, цель и новизну, результаты проведенного научного исследования. Он должен быть информативным и отражать уникальность научного творчества автора.

Список авторов в краткой форме отражает всех авторов статьи и указывается в следующем формате:

Имя Отчество Фамилия¹, Имя Отчество Фамилия²

¹ Место работы первого автора; город, страна

² Место работы второго автора; город, страна

**если авторов не более четырех, то необходимо указывать полные ФИО, от пяти авторов и более – допустимо использовать инициал*

АННОТАЦИЯ

Основной принцип создания аннотации — информативность. Объем аннотации — от 200 до 250 слов.

Структура и содержание аннотации должны соответствовать структуре и содержанию основного текста статьи.

Аннотация к статье должна представлять краткую характеристику научной статьи. Задача аннотации — дать возможность читателю установить ее основное содержание, определить ее релевантность и решить, следует ли обращаться к полному тексту статьи.

Четкое структурирование аннотации позволяет не упустить основные элементы статьи. Структура аннотации аналогична структуре научной статьи и содержит следующие основные разделы:

- **Введение** — содержит описание предмета, целей и задач исследования, актуальность.
- **Материалы и методы** (или методология проведения работы) — описание использованных в исследовании информационных материалов, научных методов или методики проведения исследования
- **Результаты** — приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, обнаруженные взаимосвязи и закономерности. Предпочтение отдается новым результатам и выводам, которые, по мнению автора, имеют практическое значение.
- **Выводы** — четкое изложение выводов, которые могут сопровождаться рекомендациями, оценками, предложениями, описанными в статье.
- **Ключевые слова** — перечисляются через запятую, количество — от 7 до 10 слов.

Благодарности. Краткое выражение благодарности персонам и/или организациям, которые оказали помощь в выполнении исследования или высказывали критические замечания в адрес вашей статьи. Также в разделе указывается источники финансирования исследования от организаций и фондов организациям и фондам, т.е. за счет каких грантов, контрактов, стипендий удалось провести исследование. Раздел приводится при необходимости.

Аннотация не должна содержать:

- избыточных вводных фраз («Автор статьи рассматривает...», «В данной статье...» и т.д.);
- абстрактного указания на время написания статьи («В настоящее время...», «На данный момент...», «На сегодняшний день...» и т.д.);
- общего описания;
- цитат, таблиц, диаграмм, аббревиатур;
- ссылок на источники литературы;
- информацию, которой нет в статье.

Англоязычная аннотация пишется по тем же правилам. Отметим, что английская аннотация не обязательно должна быть точным переводом русской.

Следует обращать особое внимание на корректность употребления терминов. Избегайте употребления терминов, являющихся прямой калькой русскоязычных. Необходимо соблюдать единство терминологии в пределах аннотации.

Ключевые слова – прообраз статьи в поисковых системах, те точки, по которым читатель может найти вашу статью и определить предметную область текста. Чтобы определить основные ключевые слова для статьи, рекомендуется представить, по каким поисковым запросам читатели могут искать вашу статью. Как правило, ключевые слова также могут включать основную терминологию.

ОСНОВНОЙ ТЕКСТ

Основной текст научной статьи, представляемой в журнал, должен быть оформлен в соответствии со стандартом IMRaD и включать следующие разделы:

- Введение;
- Материалы и методы;
- Результаты исследования;
- Заключение и обсуждение.

РИСУНКИ И ТАБЛИЦЫ

Рисунки и таблицы следует вставлять в текст статьи сразу после того абзаца, в котором рисунок впервые упоминается. Рисунки и таблицы должны быть оригинальными (либо с указанием источника), хорошего качества (не менее 300 dpi). Оригиналы рисунков предоставляются в файлах формата .jpg, .tiff (название файла должны соответствовать порядковому номеру рисунка в тексте) Размер шрифта должен соответствовать размеру шрифта основного текста статьи. Линии обязательно не тоньше 0,25 пунктов.

Заголовки таблиц и рисунков выравниваются по левому краю. Заголовок таблицы располагается над ней, начинаясь с сокращения «Табл.» и порядкового номера таблицы, подпись к рисунку располагается под ним, начинаясь с сокращения «Рис.» и порядкового номера. Рисунки и таблицы позиционируются по центру страницы.

Подрисуночные подписи и названия таблиц размещаются на русском и английском языках, каждый на новой строке с выравниванием по левому краю.

Образец:

Рис. 1. Пример рисунка в статье

Figure 1. Example of article image

Табл. 1. Пример таблицы в статье

Table 1. Example of table for article

ФОРМУЛЫ

Формулы должны быть набраны в редакторе формул MathType версии 6 или выше.

Цифры, греческие, готические и кириллические буквы набираются прямым шрифтом; латинские буквы для обозначения различных физических величин (A , F , b и т.п.) — курсивом; наименования тригонометрических функций, сокращенные наименования математических понятий на латинице (max, div, log и т.п.) — прямым; векторы ($\mathbf{a}$, $\mathbf{b}$ и т.п.) — жирным курсивом; символы химических элементов на латинице (Cl, Mg) — прямым.

Запись формулы выполняется автором с использованием всех возможных способов упрощения и не должна содержать промежуточные преобразования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Список источников составляется в порядке упоминания в тексте. Порядковый номер источника в тексте (ссылка) заключается в квадратные скобки. Текст статьи должен содержать ссылки на все источники из списка источников. При наличии ссылки должны содержать идентификаторы DOI.

Список источников на русском языке оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.5–2008.

Список источников на английском языке (reference) оформляется в соответствии с международным стандартом цитирования Vancouver — последовательный численный стиль: ссылки нумеруются по ходу

их цитирования в тексте, таблицах и рисунках. ФИО авторов, название статьи на английском языке, наименование журнала, год выпуска; Том (выпуск): страницы.

Список источников и сведения об авторах указываются последовательно на русском и английском языках.

Нормативные документы (постановления, распоряжения, уставы), ГОСТы, справочная литература не указываются в списках источников, оформляются в виде сносок.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

В **Сведениях об авторах (Bionotes)** представляется основная информация об авторском коллективе в следующем формате.

Имя, Отчество, Фамилия (полностью) — ученая степень, ученое звание, должность, подразделение; **название организации** (обязательно приводить в полной и краткой официально установленной форме, в именительном падеже), в которой работает (учится) автор; почтовый адрес организации; адрес электронной почты; ORCID, ResearcherID и др. (при наличии).

Сведения об авторах представляются на русском и английском языках.

Сведения об авторах на английском языке даются в полном виде, без сокращений слов. Приводятся официально установленные англоязычные названия организаций и их подразделений. Опускаются элементы, характеризующие правовую форму учреждения (организации) в названиях вузов.

Автор должен придерживаться единообразного написания фамилии, имени, отчества во всех статьях. Эта информация для корректной индексации должна быть указана в других статьях, профилях автора в Международных базах данных Scopus/WoS и т.д.

СВЕДЕНИЯ О ВКЛАДЕ КАЖДОГО АВТОРА

Сведениям предшествуют слова «**Вклад авторов:**» (**Contribution of the authors:**). После фамилии и инициалов автора в краткой форме описывается его личный вклад в написание статьи (идея, сбор материала, обработка материала, написание статьи, научное редактирование текста и т.д.).

Сведения об отсутствии или наличии конфликта интересов и детализацию такого конфликта в случае его наличия указывают после всех данных о вкладе каждого автора.

КАК ПОДГОТОВИТЬ ОСНОВНОЙ ТЕКСТ СТАТЬИ, ЧТОБЫ ЕЕ ПРИНЯЛИ К ПУБЛИКАЦИИ?

ЗАГОЛОВОК

Заголовок статьи должен **кратко и точно** (не более 10 слов) отражать объект, цель и новизну, результаты проведенного научного исследования. В него необходимо как вложить информативность, так и отразить привлекательность, уникальность научного творчества автора.

ОСНОВНОЙ ТЕКСТ СТАТЬИ

Основной текст научной статьи, представляемой в журнал для рассмотрения вопроса о ее публикации, должен быть оформлен в соответствии со стандартом IMRaD и включать следующие разделы: введение (Introduction), материалы и методы (Materials and methods), результаты исследования (Result), заключение и обсуждение (Conclusion and discussion).

Введение (Introduction). Отражает то, какой проблеме посвящено исследование. Осуществляется постановка научной проблемы, ее актуальность, связь с важнейшими задачами, которые необходимо решить, значение для развития определенной отрасли науки или практической деятельности.

Во введении должна содержаться информация, которая позволит читателю понять и оценить результаты исследования, представленного в статье без дополнительного обращения к другим литературным источникам. Во введении автор осуществляет обзор проблемной области (литературный обзор), в рамках которой осуществлено исследование, обозначает проблемы, не решенные в предыдущих исследованиях, которые призвана решить данная статья. Кроме этого, в нем выражается главная идея публикации, которая существенно отличается от современных представлений о проблеме, дополняет или углубляет уже

известные подходы к ней; обращается внимание на введение в научное обращение новых фактов, выводов, рекомендаций, закономерностей. Цель статьи вытекает из постановки научной проблемы.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОСТАВЛЕНИЮ ЛИТЕРАТУРНОГО ОБЗОРА

В Список источников рекомендуется включать от 20 до 40 источников, не учитывая ссылки на нормативные документы, интернет-ресурсы (сайты сети Интернет, не являющиеся периодическими изданиями), отчеты, а также источники, отсутствующие в каталогах ведущих российских библиотек-депозитариев (ГПНТБ, РНБ, РГБ), архивах и т.п. Подобные источники приводят в сносках внизу страницы сверх минимально рекомендуемого порога.

Не рекомендуется ссылаться на интернет-ресурсы, не содержащие научную информацию, учебники, учебные и методические пособия. В числе источников должно быть не менее 10 иностранных источников (для статей на английском языке не менее трех российских). Не менее шести из иностранных и не менее шести из российских источников должны быть включены в один из ведущих индексов цитирования: Web of Science/Scopus или Ядро РИНЦ. Состав источников должен быть актуальным и содержать не менее восьми статей из научных журналов не старше 10 лет, из них четыре — не старше трех лет. В списке источников должно быть не более 10 % работ, автором либо соавтором которых является автор статьи.

Материалы и методы (Materials and methods). Отражает то, как изучалась проблема. Описываются процесс организации эксперимента, примененные методики, обосновывается их выбор. Детализация описания должна быть настолько подробной, чтобы любой компетентный специалист мог воспроизвести их, пользуясь лишь текстом статьи.

Результаты (Result). В разделе представляется систематизированный авторский аналитический и статистический материал. Результаты проведенного исследования необходимо описывать достаточно полно, чтобы читатель мог проследить его этапы и оценить обоснованность сделанных автором выводов. Это основной раздел, цель его — при помощи анализа, обобщения и разъяснения данных доказать рабочую гипотезу (гипотезы). Результаты при необходимости подтверждаются иллюстрациями (таблицами, графиками, рисунками), которые представляют исходный материал или доказательства в свернутом виде. Важно, чтобы проиллюстрированная информация не дублировала уже приведенную в тексте. Представленные в статье результаты сопоставляются с предыдущими работами в этой области как автора, так и других исследователей.

Заключение (Conclusion and discussion) содержит краткую формулировку результатов исследования. В нем в сжатом виде повторяются главные мысли основной части работы. Повторы излагаемого материала лучше оформлять новыми фразами, отличающимися от высказанных в основной части статьи. В этом разделе необходимо сопоставить полученные результаты с обозначенной в начале работы целью. В заключении суммируются результаты осмысления темы, делаются выводы, обобщения и рекомендации, вытекающие из работы, подчеркивается их практическая значимость, а также определяются основные направления для дальнейшего исследования в этой области. В заключительную часть статьи желательно включить попытку прогноза развития рассмотренных вопросов.

КАК ОФОРМИТЬ СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Список источников на русском языке оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.5–2008.

Образец:

Литература

1. Голицын Г.С. Парниковый эффект и изменения климата // Природа. 1990. № 7. С. 17–24.
2. Шелушин Ю.А., Макаров К.Н. Проблемы и перспективы гидравлического моделирования волновых процессов в искаженных масштабах // Строительство: наука и образование. 2019. Т. 9. Вып. 2. Ст. 4. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2019.2.4

Список источников на английском языке (reference) оформляется в соответствии с международным стандартом цитирования Vancouver — последовательный численный стиль: ссылки нумеруются по ходу их цитирования в тексте, таблицах и рисунках. ФИО авторов, название статьи на английском языке, наименование журнала, год выпуска; Том (выпуск): страницы.

Образец:

Reference

Названия публикаций, изданий и других элементов библиографического описания для не англоязычных материалов должны приводиться в официальном варианте перевода (т.е. том, который размещен в самом издании; при наличии).

Примеры оформления распространенных типов библиографических ссылок:

Книги до трех авторов: Фамилия (Фамилии) Инициалы авторов. Заголовок. Город издания, Издатель*, Год издания; Общее количество страниц.

Образец:

Todinov M. *Reliability and risk models*. 2nd ed. Wiley, 2015; 80.

Книги более трех авторов: Фамилии Инициалы авторов (первых шести) et al. Заголовок. Город издания, Издатель, Год издания; Общее количество страниц.

Статья в печатном журнале: Фамилия (Фамилии) Инициалы авторов. Заголовок. Название журнала. Год публикации; Том* (Выпуск): Страницы. DOI (при наличии — обязательно).

Образец:

Pupyrev E. Integrated solutions in storm sewer system. *Vestnik MGSU*. 2018; 13(5):651-659. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.5.651-659

Статья в электронном журнале: Фамилия (Фамилии) Инициалы авторов. Заголовок. Название журнала. Дата публикации [дата цитирования]; Том* (Выпуск): Страницы. URL.

Образец:

Chertes K., Tupitsyna O., Martynenko E., Pystin V. Disposal of solid waste into soil-like remediation and building. *Stroitel'stvo nauka i obrazovanie* [Internet]. 2017 [cited 24 July 2018]; 7(3):3-3. URL: http://www.nso-journal.ru/public/journals/1/issues/2017/03/03_03_2017.pdf DOI: 10.22227/2305-5502.2017.3.3

Статья, размещенная на интернет-сайте: Фамилия (Фамилии) Инициалы автора (авторов)*. Название [Internet]. Город, Издатель*, Год издания [Дата последнего обновления*; дата цитирования]. URL

Образец: *How to make a robot* [Internet]. *Design Academy*. 2018 [cited 24 July 2018]. URL: <https://academy.autodesk.com/how-make-robot>

* указываются при наличии.

Все даты указываются в формате ДД-Месяц (текстом)-Год

Для формирования англоязычного списка источников редакция рекомендует использовать ресурс Citethisforme.com.

ШАБЛОН СТАТЬИ

Тип Статьи

Тип статьи - научная статья, обзорная статья, редакционная статья, дискуссионная статья, персоналии, редакторская заметка, рецензия на книгу, рецензия на статью, спектакль и т. п., краткое сообщение.

УДК 11111

DOI 11111

ЗАГОЛОВОК СТАТЬИ

должен кратко (не более 10 слов) и точно отражать объект, цель и новизну, результаты проведенного научного исследования. В него необходимо как вложить информативность, так и отразить привлекательность, уникальность научного творчества автора.

Имя Отчество Фамилия¹, Имя Отчество Фамилия²...

¹ Место работы первого автора; город, страна

² Место работы первого автора; город, страна

**если авторов не более четырех, то необходимо указывать полные ФИО, от пяти авторов и более – допустимо использовать инициалы*

Аннотация (должна содержать от 200 до 250 слов), в которую входит информация под заголовками: **Введение, Материалы и методы, Результаты, Выводы.**

Введение: приводятся характеристики работы — если не ясно из названия статьи, то кратко формулируются предмет исследования, его актуальность и научная новизна, а также практическая значимость (общественная и научная), цель и задачи исследования. Лаконичное указание проблем, на решение которых направлено исследование, или научная гипотеза исследования.

Материалы и методы: описание применяемых информационных материалов и научных методов.

Результаты: развернутое представление результатов исследования. Приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, обнаруженные взаимосвязи и закономерности. При этом отдается предпочтение новым результатам и данным долгосрочного значения, важным открытиям, выводам, которые опровергают существующие теории, а также данным, которые, по мнению автора, имеют практическое значение.

Выводы: аргументированное обоснование ценности полученных результатов, рекомендации по их использованию и внедрению. Выводы могут сопровождаться рекомендациями, оценками, предложениями, новыми гипотезами, описанными в статье.

Приведенные части аннотации следует выделять соответствующими подзаголовками и излагать в данных разделах релевантную информацию. **См. рекомендации по составлению аннотации.**

Ключевые слова: 7–10 ключевых слов.

Ключевые слова являются поисковым образом научной статьи. Во всех библиографических базах данных возможен поиск статей по ключевым словам. В связи с этим они должны отражать основную терминологию научного исследования и не повторять название статьи.

Благодарности (если нужно).

В этом разделе следует упомянуть людей, помогавших автору подготовить настоящую статью, организации, оказавшие финансовую поддержку. Хорошим тоном считается выражение благодарности анонимным рецензентам.

Автор, ответственный за переписку: Имя Отчество Фамилия, адрес электронной почты для связи.

ЗАГОЛОВОК СТАТЬИ НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ

И.О. Фамилия¹, И.О. Фамилия²... на английском языке

¹ Место работы первого автора; город, страна – на английском языке

² Место работы первого автора; город, страна – на английском языке

**если авторов не более четырех, то необходимо указывать полные ФИО, от пяти авторов и более – допустимо использовать инициалы*

Abstract (200–250 слов)

Introduction: text, text, text.

Materials and methods: text, text, text.

Results: text, text, text.

Conclusions: text, text, text.

Key words: text, text, text.

Acknowledgements: text, text, text.

Corresponding author: Имя Отчество Фамилия, адрес электронной почты для связи — на английском языке

ВВЕДЕНИЕ

Задача введения — обзор современного состояния рассматриваемой в статье проблематики, обозначение научной проблемы и ее актуальности.

Введение должно включать обзор современных оригинальных российских и зарубежных научных достижений в рассматриваемой предметной области, исследований и результатов, на которых базируется представляемая работа (Литературный обзор). Литературный обзор должен подчеркивать актуальность и новизну рассматриваемых в исследовании вопросов.

Во введении должна содержаться информация, которая позволит читателю понять и оценить результаты исследования, представленного в статье.

Литературный обзор. Список источников включает от 20 до 50 источников, не учитывая ссылки на нормативные документы (ГОСТ, СНИП, СП), интернет-ресурсы (сайты сети Интернет, не являющиеся периодическими изданиями), отчеты, а также источники, отсутствующие в каталогах ведущих российских библиотек-депозитариев (ГПНТБ, РНБ, РГБ), архивах и т.п. Подобные источники следует указывать в списке литературы сверх минимально установленного порога. Не рекомендуется ссылаться на интернет-ресурсы, не содержащие научную информацию, учебники, учебные и методические пособия.

Уровень публикации определяют полнота и представительность источников. Не менее шести из иностранных и не менее шести из российских источников должны быть включены в один из ведущих индексов цитирования:

- Web of Science <http://webofknowledge.com>
- Scopus <http://www.scopus.com/home.url>
- ядро Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) <http://elibrary.ru>

Англоязычных источников включают в список не менее 50 %, за последние три года — не менее половины. Рекомендуется использовать оригинальные источники не старше 10 лет.

Ссылки на источники приводятся в статье в квадратных скобках. Источники нумеруются по порядку упоминания в статье.

Завершают введение к статье постановка и описание цели и задачи приведенной работы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Раздел описывает методику проведения исследования. Обоснование выбора темы (названия) статьи. Сведения о методе, приведенные в разделе, должны быть достаточными для воспроизведения его квалифицированным исследователем.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В этой части статьи должен быть представлен систематизированный авторский аналитический и статистический материал. Результаты проведенного исследования необходимо описывать так, чтобы читатель мог проследить его этапы и оценить обоснованность сделанных автором выводов. Это основной раздел, цель которого — при помощи анализа, обобщения и разъяснения данных доказать рабочую гипотезу (гипотезы). Результаты при необходимости подтверждаются иллюстрациями (таблицами, графиками, рисунками), которые представляют исходный материал или доказательства в свернутом виде. Важно, чтобы проиллюстрированная информация не дублировала уже приведенную в тексте. Представленные в статье результаты следует сопоставить с предыдущими работами в этой области как автора, так и других исследователей. Такое сравнение дополнительно раскроет новизну проведенной работы, придаст ей объективность. Результаты исследования должны быть изложены кратко, но при этом содержать достаточно информации для оценки сделанных выводов. Не принято в данном разделе приводить ссылки на литературные источники.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Заключение содержит краткую формулировку результатов исследования (выводы). В этом разделе показывают, как полученные результаты обеспечивают выполнение поставленной цели исследования, указы-

вают, что поставленные задачи авторами были решены. Приводятся обобщения и даются рекомендации, вытекающие из работы, подчеркивается их практическая значимость, а также определяются основные направления для дальнейшего исследования в этой области. В рамках обсуждения желательно раскрыть перспективы развития темы.

В данном разделе не приводят ссылки на источники.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ (REFERENCES)

Оформляется на русском и английском языках.

Расположение источников в списке – в строгом соответствии с порядком упоминания в тексте статьи.

Библиографическое описание документов (в том числе и электронных) на русском языке оформляется в соответствии с требованиями ГОСТа Р 7.0.5–2008.

Библиографическое описание документов (в том числе и электронных) на английском языке оформляется в стиле «Ванкувер».

Русскоязычные источники необходимо приводить в официальном варианте перевода (т.е. том, который размещен в самом издании; при наличии). Название города издания приводится полностью, в английском написании. Названия журналов и издательств приводятся либо официальные английские (если есть), либо транслитерированные. В конце описания источника в скобках указывается язык источника (rus.).

Для изданий следует указать фамилии авторов, журнал (электронный адрес), год издания, том (выпуск), номер, страницы, DOI или адрес доступа в сети Интернет. Интересующийся читатель должен иметь возможность найти указанный литературный источник в максимально сжатые сроки.

Если у статьи (издания) есть DOI, его обязательно указывают в библиографическом описании источника.

Важно правильно оформить ссылку на источник.

Пример оформления:

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Самарин О.Д. О расчете охлаждения наружных стен в аварийных режимах теплоснабжения // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2007. № 2. С. 46–50. URL: <http://izvuzstr.sibstrin.ru/uploads/publication/fulltext/2-2007.pdf> (дата обращения: 04.12.18).

2. Мусорина Т.А., Петриченко М.Р. Математическая модель тепломассопереноса в пористом теле // Строительство: наука и образование. 2018. Т. 8. № 3. С. 35–53. DOI: 10.22227/2305-5502.2018.3.3

REFERENCES

1. Samarin O.D. On calculation of external walls coling in emergency condition of heat supply. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Construction*. 2007; 2:46-50. URL: <http://izvuzstr.sibstrin.ru/uploads/publication/fulltext/2-2007.pdf> (Accessed 19th June 2015). (rus.).

2. Musorina T.A., Petrichenko M.R. Mathematical model of heat and mass transfer in porous body. *Construction: science and education*. 2018; 8(3):35-53. DOI: 10.22227/2305-5502.2018.3.3 (rus.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Оформляются на русском и английском языках.

Об авторах: **Имя, отчество, фамилия** (полностью) — ученая степень, ученое звание, должность, подразделение; **название организации** (обязательно приводить в полной и краткой официально установленной форме, в именительном падеже), в которой работает (учится) автор; почтовый адрес организации; адрес электронной почты;

Имя, отчество, фамилия (полностью) — ученая степень, ученое звание, должность, подразделение, **название организации** (обязательно приводить в полной и краткой официально установленной форме, в именительном падеже), в которой работает (учится) автор, почтовый адрес организации, адрес электронной почты.

Сведения об авторах на английском языке приводятся в полном виде, без сокращений слов. Приводятся официально установленные англоязычные названия организаций и их подразделений. Опускаются элементы, характеризующие правовую форму учреждения (организации) в названиях вузов.

Автор должен придерживаться единообразного написания фамилии, имени, отчества во всех статьях. Эта информация для корректной индексации должна быть указана в других статьях, профилях автора в

Международных базах данных Scopus / WoS и т.д.

Bionotes: **Имя, отчество, фамилия** (полностью) — ученая степень, ученое звание, должность, подразделение; **название организации** (обязательно приводить в полной и краткой официально установленной форме), в которой работает (учится) автор; почтовый адрес организации (в последовательности: офис, дом, улица, город, индекс, страна); адрес электронной почты;

Имя, отчество, фамилия (полностью) — ученая степень, ученое звание, должность, подразделение; **название организации** (обязательно приводить в полной и краткой официально установленной форме), в которой работает (учится) автор; почтовый адрес организации (в последовательности: офис, дом, улица, город, индекс, страна); адрес электронной почты.

ВНИМАНИЕ! Все названия, подписи и структурные элементы рисунков, графиков, схем, таблиц оформляются на русском и английском языках.

Вклад авторов:

Фамилия И.О. - описание личного вклада в написание статьи в краткой форме (идея, сбор материала, обработка материала, написание статьи, научное редактирование текста и т. д.).

Пример:

Артемяева С. С. – научное руководство; концепция исследования; развитие методологии; участие в разработке учебных программ и их реализации; написание исходного текста; итоговые выводы. Митрохин В. В. – участие в разработке учебных программ и их реализации; доработка текста; итоговые выводы.

После «Информации об авторах» приводят сведения об отсутствии или наличии конфликта интересов и детализацию такого конфликта в случае его наличия. Если в статье приводят данные о вкладе каждого автора, то сведения об отсутствии или наличии конфликта интересов указывают после них.

Пример:

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

И з в е щ е н и е

Кассир

Форма № ПД-4

УФК по г. Москве г. Москва (НИУ МГСУ, л/с 20736Х29560) КПП 771601001

(наименование получателя платежа)

7716103391

(ИНН получателя платежа)

032146430000000017300

(номер счета получателя платежа)

в

ГУ Банка России по ЦФО

(наименование банка получателя платежа)

 БИК

004525988

КБК

0000000000000000000130

ОКТМО

45365000

Вестник МГСУ - 637.00 руб. х 6 экз.
подписка на январь, февраль, март, апрель,
май, июнь 2023 г.

(наименование платежа)

Вестник МГСУ

(номер лицевого счета (код) плательщика)

Ф.И.О
плательщика _____

Адрес
плательщика _____

Сумма
платежа

3 822

 руб.

00

 коп. услуги _____ руб. _____ коп.

Итого _____ руб. _____ коп. « _____ » _____ 20 _____ г.

С условиями приема указанной в платежном документе суммы, в т.ч. с суммой взимаемой платы за услуги
банка, ознакомлен и согласен.

Подпись
плательщика _____

Квитанция

Кассир

Форма № ПД-4

УФК по г. Москве г. Москва (НИУ МГСУ, л/с 20736Х29560) КПП 771601001

(наименование получателя платежа)

7716103391

(ИНН получателя платежа)

032146430000000017300

(номер счета получателя платежа)

в

ГУ Банка России по ЦФО

(наименование банка получателя платежа)

 БИК

004525988

КБК

0000000000000000000130

ОКТМО

45365000

Вестник МГСУ - 637.00 руб. х 6 экз.
подписка на январь, февраль, март, апрель,
май, июнь 2023 г.

(наименование платежа)

Вестник МГСУ

(номер лицевого счета (код) плательщика)

Ф.И.О
плательщика _____

Адрес
плательщика _____

Сумма
платежа

3 822

 руб.

00

 коп. услуги _____ руб. _____ коп.

Итого _____ руб. _____ коп. « _____ » _____ 20 _____ г.

С условиями приема указанной в платежном документе суммы, в т.ч. с суммой взимаемой платы за услуги
банка, ознакомлен и согласен.

Подпись
плательщика _____

Бланк для оплаты полугодовой подписки через редакцию (оплата в банке).

ВНИМАНИЕ!

Если вы оплатили подписку по форме ПД-4 в банке, то для своевременной отправки вам номеров журнала безотлагательно пришлите копию платежного документа и сообщите ваш адрес с почтовым индексом, Ф.И.О. на e-mail: podpiska@mgsu.ru.

Подписчики — работники НИУ МГСУ могут заполнить бланк на свое имя и обратиться в отдел распространения и развития Издательства МИСИ — МГСУ для оформления подписки.

Телефон: (495)287-49-14 (вн. 22-47), podpiska@mgsu.ru.

Подробную информацию о вариантах подписки на «Вестник МГСУ» для физических и юридических лиц смотрите на сайте журнала <http://vestnikmgsu.ru/>



И з в е щ е н и е

Кассир

Форма № ПД-4

УФК по г. Москве г. Москва (НИУ МГСУ, л/с 20736Х29560) КПП 771601001

(наименование получателя платежа)

7716103391

(ИНН получателя платежа)

032146430000000017300

(номер счета получателя платежа)

в

ГУ Банка России по ЦФО

(наименование банка получателя платежа)

БИК004525988

КБК

0000000000000000000000000000130

ОКТМО

45365000

Вестник МГСУ - 573.34 руб. х 12 экз.
подписка на январь, февраль, март, апрель, май, июнь,
июль, август, сентябрь, октябрь, ноябрь, декабрь 2023 г.

Вестник МГСУ

(наименование платежа)

(номер лицевого счета (код) плательщика)

Ф.И.О

плательщика

Адрес

плательщика

Сумма

платы

за

Сумма

платежа

6 880

руб.

00

коп.

услуги

руб.

коп.

Итого

руб.

коп.

«

»

20

г.

С условиями приема указанной в платежном документе суммы, в т.ч. с суммой взимаемой платы за услуги банка, ознакомлен и согласен.

Подпись

плательщика

Квитанция

Кассир

Форма № ПД-4

УФК по г. Москве г. Москва (НИУ МГСУ, л/с 20736Х29560) КПП 771601001

(наименование получателя платежа)

7716103391

(ИНН получателя платежа)

0321464300000000000017300

(номер счета получателя платежа)

в

ГУ Банка России по ЦФО

(наименование банка получателя платежа)

БИК004525988

КБК

0000000000000000000000000000130

ОКТМО

45365000

Вестник МГСУ - 573.34 руб. х 12 экз.
подписка на январь, февраль, март, апрель, май, июнь,
июль, август, сентябрь, октябрь, ноябрь, декабрь 2023 г.

Вестник МГСУ

(наименование платежа)

(номер лицевого счета (код) плательщика)

Ф.И.О

плательщика

Адрес

плательщика

Сумма

платы

за

Сумма

платежа

6 880

руб.

00

коп.

услуги

руб.

коп.

Итого

руб.

коп.

«

»

20

г.

С условиями приема указанной в платежном документе суммы, в т.ч. с суммой взимаемой платы за услуги банка, ознакомлен и согласен.

Подпись

плательщика

Бланк для оплаты полугодовой подписки через редакцию (оплата в банке).

ВНИМАНИЕ!

Если вы оплатили подписку по форме ПД-4 в банке, то для своевременной отправки вам номеров журнала безотлагательно пришлите копию платежного документа и сообщите ваш адрес с почтовым индексом, Ф.И.О. на e-mail: podpiska@mgsu.ru.

Подписчики — работники НИУ МГСУ могут заполнить бланк на свое имя и обратиться в отдел распространения и развития Издательства МИСИ — МГСУ для оформления подписки.

Телефон: (495)287-49-14 (вн. 22-47), podpiska@mgsu.ru.

Подробную информацию о вариантах подписки на «Вестник МГСУ» для физических и юридических лиц смотрите на сайте журнала <http://vestnikmgsu.ru/>

