

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

ВЕСТНИК МГСУ

Научно-технический журнал
по строительству и архитектуре

Том 19 Выпуск 1/2024
Vol. Issue

VESTNIK MGSU

Monthly Journal on Construction
and Architecture

DOI: 10.22227/1997-0935.2024.1

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

ВЕСТНИК МГСУ

Научно-технический журнал по строительству и архитектуре

**Том 19. Выпуск 1
2024**

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

Сквозной номер 182

VESTNIK MGSU

Monthly Journal on Construction and Architecture

**Volume 19. Issue 1
2024**

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	26.01.2024.
Подписан в свет	31.01.2024.
Формат 60×84/8. Усл. печ. л. 18,25. Тираж 100 экз. (1-й завод 50 экз.). Заказ № 36	

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, советник, НИУ МГСУ, Москва, Российская Федерация

Заместители главного редактора

Армен Завенович 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 Дельфта, 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

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

Йозеф Вичап, 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

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

Левон Рафаэлович Маилян, 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 «Кибер.Ленинка», 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

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 образования «Санкт-Петербургский государственный архи-

тектурно-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:	26.01.2024

Distributed by subscription

© Federal State Budget Educational Institution of Higher Education “Moscow State University of Civil Engineering (National Research University)”, 2024

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

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

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

Н.В. Данилина, Л. Алибрахим
Оценка уровня обслуживания улиц и общественных пространств: на примере исторического Алеппо. 11

П.С. Разумова, А.И. Финогенов
Ансамблевые качества исторической застройки текстильных предприятий XIX – начала XX века
в условиях реновации архитектурного пространства города 26

Е.В. Михайлова, Е.К. Калиниченко, М.О. Белова
Развитие архитектурной среды подземных структур общественно-торговых комплексов, реконструкция
площади Павелецкого вокзала 36

С.С. Правдолюбова, В.А. Егорова, А.О. Зубкова, А.Д. Сидорова
Стрит-арт в пространстве городской среды Рязани 45

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

О.В. Мкртычев, А.А. Решетов, Е.М. Лохова
Оценка влияния ротационных компонент сейсмического воздействия на напряженно-
деформированное состояние простых систем 54

БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Е.А. Король, Е.Н. Дегаев
Анализ эффективности затрат на мероприятия по охране труда. 67

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

О.Д. Самарин
Расчет остывания помещений здания в аварийных режимах при переменной температуре наружного
воздуха 77

С.М. Чекардовский, К.Н. Илюхин, А.А. Мелехин, М.Н. Чекардовский
Разработка алгоритма расчета эффективности эксплуатации и ремонта пластинчатого теплообменника . . . 84

Д.Е. Поливанов, А.А. Семенов
Интенсивность водопотребления в отдельных водоразборных точках системы внутреннего водоснабжения . 94

М.Ю. Федотов, А.А. Кальгин, Е.Е. Шмойлов, П.Д. Капырин, О.А. Корнев
Применение комплексной системы оптического мониторинга технического состояния с внешним
композитным армированием строительных конструкций 105

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

А.Н. Тиратуриян
Моделирование управляющих воздействий на эксплуатационной стадии жизненного цикла
автомобильных дорог. 115

С.В. Федосов, А.А. Лапидус, А.Б. Петрухин, Б.Е. Нармания
Организационно-технологические принципы мониторинга состояния здания на этапе эксплуатации
жизненного цикла. 128

Ю.О. Бакрунов, В.В. Глазкова
Реализация государственной политики в вопросах инновационного развития сферы теплоснабжения. . . . 138

Требования к оформлению научной статьи 148

CONTENTS

ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING. RECONSTRUCTION AND REFURBISHMENT

Nina V. Danilina, Lina Alibrahim
Level of service for assessing streets and public spaces: the case of historical Aleppo. 10

Polina S. Razumova, Alexander I. Finogenov
Ensemble qualities of historical buildings of textile enterprises of the 19th – early 20th centuries in the conditions of renovation of the architectural space of the city. 26

Elena V. Mikhaylova, Ekaterina K. Kalinichenko, Margarita O. Belova
Development of architectural environment of underground structures of public and trading complexes on the example of reconstruction of Paveletsky station square. 36

Svetlana S. Pravdolubova, Valeria A. Egorova, Anastasia O. Zubkova, Alisa D. Sidorova
Street art in the space of urban environment of Ryazan. 45

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

Oleg V. Mkrtychev, Andrey A. Reshetov, Ekaterina M. Lokhova
Estimated effect of rotational components of seismic impact on the strength-strain state of simple systems 54

SAFETY OF CONSTRUCTION AND URBAN ECONOMY

Elena A. Korol', Evgeniy N. Degaev
Cost-effectiveness analysis of labour protection measures. 67

ENGINEERING SYSTEMS IN CONSTRUCTION

Oleg D. Samarin
Calculation of cooling of building premises in emergency modes at variable outdoor temperature 77

Sergey M. Chekardovsky, Konstantin N. Ilyukhin, Andrey A. Melekhin, Mikhail N. Chekardovsky
Development of algorithm for calculation of operation and repair efficiency of a plate heat exchanger. 84

Dmitrii E. Polivanov, Alexey A. Semenov
Intensity of water consumption in separate water collection points of internal water supply system 94

Mikhail Yu. Fedotov, Alexander A. Kalgin, Evgeniy E. Shmoilov, Pavel D. Kapyrin, Oleg A. Kornev
Application of a complex system for optical monitoring of technical condition of building structures with external composite reinforcement. 105

TECHNOLOGY AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION. ECONOMICS AND MANAGEMENT IN CONSTRUCTION

Artem N. Tiraturyan
Modelling of control actions at the operational stage of the life cycle of roads 115

Sergey V. Fedosov, Azariy A. Lapidus, Alexsander B. Petrukhin, Boris E. Narmaniya
Organizational and technological principles of building condition monitoring at the stage of life cycle operation 128

Yuri O. Bakrunov, Valeriya V. Glazkova
Implementation of the state policy for innovative development of the heat supply sector 138

Requirements for research paper design 148

Вестник МГСУ • ISSN 1997-0935 (Print) ISSN 2304-6600 (Online) • Том 19. Выпуск 1, 2024
Vestnik MGSU • Monthly Journal on Construction and Architecture • Volume 19. Issue 1, 2024

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:

«Устойчивость железобетонных конструктивных систем в запредельных состояниях,
вызванных особыми аварийными воздействиями».

Конкурсный отбор состоится на заседании Научно-технического совета
НИУ МГСУ 20.02.2024 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 711.4:656

DOI: 10.22227/1997-0935.2024.1.11-25

Оценка уровня обслуживания улиц и общественных пространств: на примере исторического Алеппо

Нина Васильевна Данилина, Лина Алибрахим

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Исторические города сталкиваются с вопросами устойчивого развития, особенно городские центры, которые имеют высокую культурную ценность. Одной из важнейших тем является обеспечение связности и доступности, поскольку дорожные и уличные сети в исторических центрах имеют свои особенности: узкие переулки, высокую плотность застройки, транспортных средств, пешеходных потоков и разнообразных видов общественной деятельности. В этом аспекте существует интерес к оценке текущего состояния улиц в исторических центрах для принятия информированного решения об их реконструкции с целью создания гибкой, комфортной и безопасной общественной среды.

Материалы и методы. Выбран город Алеппо в качестве объекта исследования. Выполнены анализ генерального плана и инфраструктуры города с использованием карт ГИС и метода LOS уровня обслуживания транспортной сети в историческом центре города.

Результаты. Разработана классификация улиц исторического центра города, связанная с соотношением пешеходов, а также иерархия, показывающая важные объекты, расположенные рядом с исследуемыми улицами, которые привлекают население. С помощью метода LOS предложили ранжирование уровня обслуживания улиц от А до F и классификацию улиц в соответствии с этими значениями.

Выводы. Определены улицы, которые требуют реконструктивных решений по повышению качества городской среды с целью удовлетворения формирования комфортных и безопасных условий для пешеходов, а также обеспечения доступности городской инфраструктуры с учетом ее исторической ценности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: уровень обслуживания, LOS, улицы, общественные пространства, исторические центры городов, город Алеппо, транспорт, пешеходы, пробки, устойчивость городов, синтаксический анализ

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Данилина Н.В., Алибрахим Л. Оценка уровня обслуживания улиц и общественных пространств: на примере исторического Алеппо // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19. Вып. 1. С. 11–25. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.1.11-25

Автор, ответственный за переписку: Лина Алибрахим, linaalibrahim26@gmail.com.

Level of service for assessing streets and public spaces: the case of historical Aleppo

Nina V. Danilina, Lina Alibrahim

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

ABSTRACT

Introduction. Historic cities face the issues of sustainable development, especially city centres that have high cultural value. One of the most important topics is ensuring connectivity and accessibility as road and street networks in historic centres have their own characteristics: narrow alleys, high density of buildings, vehicles, pedestrian flows and a variety of public activities. In this aspect, there is the research interest to assess current condition of streets in the historic centres to make informed decisions about their reconstruction in order to create a flexible, comfortable and safe public environment.

Materials and methods. Selecting Aleppo city as the object of study, analyzing the current situation of general plan and infrastructure of the city using GIS maps, open public data and information provided by local municipality of the city and through applying (LOS-Level of Service) method which is designed for analyzing transportation networks in this case in the historic city centre.

Results. A classification of the streets of the historic city centre was developed, which is designed due to pedestrian ratios, taking into account hierarchy that considers the valuable heritage objects that are located near the studied streets that attract visitors. As a final result a method was suggested for the purpose of ranking level of street services from A to F and the classification of streets according to their values.

Conclusions. Identified streets that require reconstruction solutions to improve the quality of the urban environment, with

the aim of creating comfortable and safe conditions for pedestrians, while ensuring the accessibility of the urban infrastructure, taking into account its historical value.

KEYWORDS: level of service, LOS, streets, public spaces, historic city centres, Aleppo city, transport, pedestrians, traffic jams, urban sustainability, syntactic analysis

FOR CITATION: Danilina N.V., Alibrahim L. Level of service for assessing streets and public spaces: the case of historical Aleppo. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2024; 19(1):11-25. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.1.11-25 (rus.).

Corresponding author: Lina Alibrahim, linaalibrahim26@gmail.com.

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшие проблемы, требующие приоритетного решения на улицах исторических городов, относятся к их связности и доступности. Улицы и дорожные сети в исторических центрах городов всегда имеют свои особенности: узкие коридоры, плотная застройка, автомобильное и пешеходное движение, разнообразие видов общественной деятельности [1, 2]. Оценка текущего состояния улиц в исторических центрах городов для принятия решений об их реконструкции с целью создания удобной, комфортной и безопасной общественной среды [3] является актуальным вопросом, особенно для сирийских городов, где до сих пор продолжают работы по реконструкции и восстановлению исторических артефактов в послевоенный период.

Исторически значимые города Сирии, расположенные в настоящее время в центрах городов, были разрушены в результате военных действий [4]. Алеппо имеет влияние благодаря своей коммерческой ценности и культурному наследию, основанному на высоко ценимых артефактах, таких как гостиницы, рынки, религиозные здания, хаммам; после разрушения город стал важным объектом для восстановления и развития туризма. За последние годы Алеппо сильно разрушился, что негативно сказалось на инфраструктуре дорог и услуг^{1,2}.

Чтобы следовать современным мировым тенденциям устойчивого развития улиц и общественных пространств [5–7] и получить концепцию развития туристических маршрутов и улиц, сделать их безопасными для жителей и посетителей, необходимо представить аналитическое исследование улиц исторического города, определить участки, сочетающие три элемента (плотность движения — высокая плотность пешеходов — места, содержащие важные объекты), с целью предложить пути и пространства, которые могут быть пригодны для комфорта и отдыха жителей [8].

¹ Urban cultural heritage in the middle east. Old City of Aleppo. Five Thousand Years of Urban Structures. URL: https://www-docs.b-tu.de/middle-east-cooperation/public/20201109_Aleppo%20Plans/20200917_Exhibition_Aleppo_BTU_reduced.pdf

² Gonnella J. Guidebook. The Citadel of Aleppo. 2008. URL: https://www.academia.edu/48895417/Guidebook_The_Citadel_of_Aleppo

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Характеристика города Алеппо

Город Алеппо существует с III тысячелетия до н. э. и на протяжении веков остается важным районом по уровню урбанизации и численности населения. Он также сыграл значимую роль в истории региона, Алеппо включен в список объектов Всемирного наследия ЮНЕСКО, являясь одним из древнейших населенных городов мира, а также был экономическим и промышленным центром Сирии [9].

В 2010 г. Алеппо признан культурной столицей Сирии, привлекая более 700 тыс. туристов. Однако в 2020 г. число посетителей существенно сократилось в результате военных действий, продолжающихся последние несколько лет [10]. Исторически Алеппо развивался по схеме «4 кольца», начиная с древней цитадели, эта территория сегодня известна как старый город или центр города, окруженный исторической стеной. В период с 1946 по 1974 г. расширение города продолжалось, что было обусловлено различными генеральными планами, разработанными градостроителями разных национальностей. В 2010 г. генеральный план был обновлен в соответствии с текущими данными о росте численности населения [11–14].

По сведениям Сирийского центра статистики, в настоящее время население города составляет 4 117 970 человек³. В последние годы, согласно градостроительным схемам и проектам, не принималось во внимание особое положение исторических центров города (памятники культурного наследия, узкие улицы), и пешеходам стало трудно передвигаться по городу, поскольку эти планы предусматривали движение транспорта только для обслуживания традиционных рынков, что привело к разрушению части города внутри стен и потерям многих исторических памятников, а также изменению городской структуры после разделения районов на участки, разделенные улицами, обеспечивающими лишь автомобильное движение.

На схеме (рис. 1) показано распределение важных общественных зданий в исторической центральной части Алеппо, где эти здания представляют наиболее ценные архитектурные и градостроительные объекты исторического центра города, такие как традиционные суды, мечети, школы,

³ Central Statistical Organization. URL: <http://cbssyr.sy>

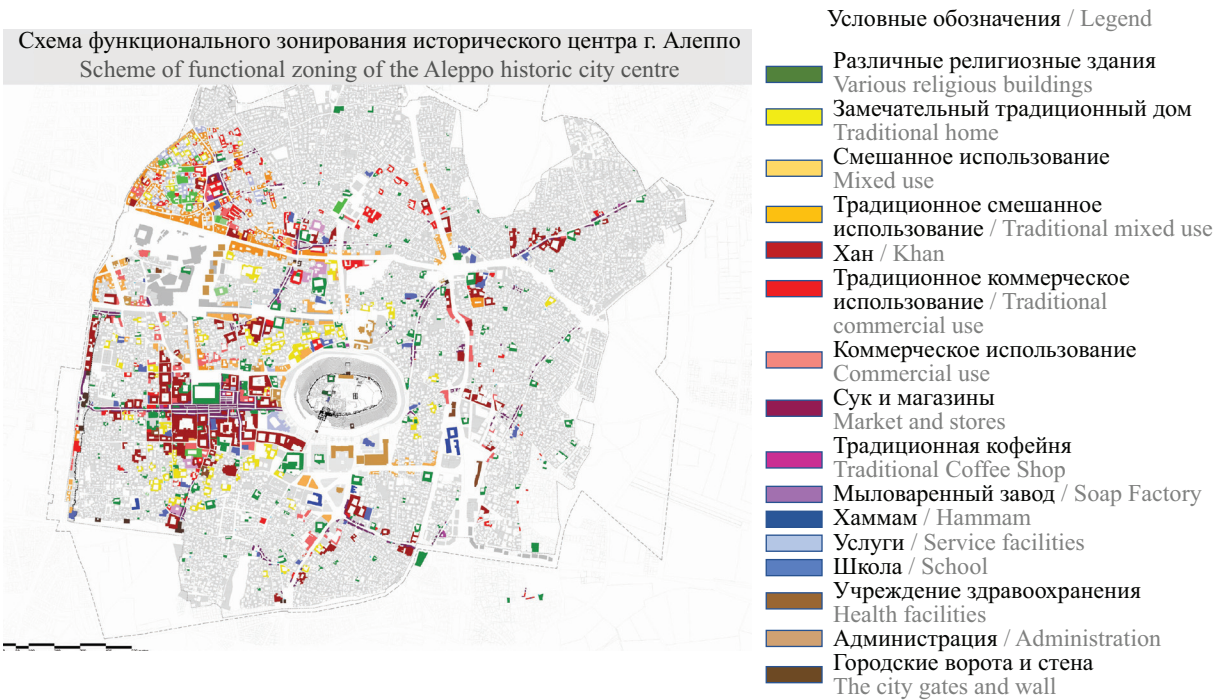


Рис. 1. Функциональное распределение объектов в историческом центре города Алеппо

Fig. 1. Scheme of distribution of functional zones in the historical centre of Aleppo

хаммамы, гостиницы, рынки⁴, которые служат привлекательным объектом для населения Алеппо.

В городе находится исторический центр, включенный в список объектов культурного наследия (ОКН) ЮНЕСКО, что делает его памятником истории и культуры страны. В этом центре сохранилось множество культурных и исторических объектов, представляющих ценность. Его расположение в черте города влияет на транспортные и пешеходные потоки.

В табл. 1 представлены важнейшие ОКН Алеппо, которыми изобилует древний город, начиная с цитадели, стен и ворот, окружающих город, и заканчивая жилыми домами, сохранившими исторический градостроительный стиль, придающий горо-

⁴ CITY PROFILE ALEPPO. Multi Sector Assessment // UN-Habitat. 2014. URL: https://unhabitat.org/sites/default/files/documents/2019-05/aleppo_city_profile.pdf

ду привлекательность и уникальность, отличающую его от других сирийских городов.

Расположение этих объектов в городе влияет как на движение транспорта, так и на движение пешеходов. С одной стороны, они служат центрами активности пешеходов и транспорта и являются заметными достопримечательностями; с другой — могут создавать ограничения для развития города, особенно для городских улиц.

Территория исследования

Алеппо находится на севере Сирии, напротив турецких земель, между окраинами Таврских гор на севере и границами пустыни Хомс и плато Шабит на юге. Город занимает площадь 190 км² и расположен между равнинами долины Евфрата на востоке и равнинами гор эль-Хаддам на западе. В табл. 2 приведены основные характеристики города.

Анализ городской структуры исторического Алеппо может быть разделен на несколько отдель-

Табл. 1. Наиболее значимые объекты исторического наследия в Алеппо
Table 1. Most distinguished objects of the cultural heritage in the city of Aleppo

Название местоположения The location name	Цитадель Алеппо Aleppo Citadel	Ворота Хан (Аль-Вазир) Khan (Al-Wazir) gate	Мечеть Омейядов Umayyads Mosque	Самый длинный крытый рынок The longest covered market in the world
Изображение объекта Picture of the object				

Табл. 2. Градостроительные характеристики центра Алеппо

Table 2. Characteristics of the historical centre of Aleppo

Площадь, км ² Area, sq. km	Население, чел. Population, person	Плотность населения, чел/км ² Population density, pers./sq.km	Протяженность, км Length of the road network, km
3,5	100,000	28,57	35,038

ных зон, каждая из которых имеет свои исторические и архитектурные особенности.

Такой подход позволяет понять эволюцию и развитие города в разные периоды времени. Первый район — это район вокруг замка, где сосредоточены разнообразные исторические и традиционные здания, относящиеся к периоду от античности до Османской империи. Благодаря своим архитектурным стилям и исторической значимости эти здания являются материальной основой истории города. Окружающий замок район служит свидетельством различных культурных влияний, формировавших город на протяжении веков.

Еще один важный элемент градостроительной ткани исторического города — городской рынок. Он был построен в эпоху эллинистического Рима, что показывает историческую долговечность коммерческой деятельности в этом районе. Рынок служит экономическим центром и демонстрирует устойчивость торговой деятельности, существовавшей в разные эпохи.

Жилые помещения можно разделить на две категории кварталов. К первой категории относятся высокоорганизованные здания, предполагающие детальное проектирование и создание планировки. Расположение зданий демонстрирует социальные структуры и градостроительные принципы, которые существовали на этапе их строительства. Вторая категория жилых кварталов характеризуется наличием открытых пространств, разделенных на площади и пешеходные дорожки [15–18]. Из жилых кварталов уникальную категорию представляет собой район Баб аль-Фарадж, в котором сочетаются исторические и современные здания, демонстрирующие контраст различных архитектурных стилей и эволюцию градостроительства⁵.

Анализ центральных улиц Алеппо показывает, что их сеть состоит в основном из четырехполосных магистральных улиц с двусторонним движением, которые являются наиболее интенсивными. Эти улицы обслуживают как жителей, так и иногородних, часто используются двухполосные проезжие части и парковки, расположенные вдоль узких тротуаров. Кроме того, внутренние улицы, выполненные в виде переулков, обеспечивают повышенный уровень приватности и социального контроля, пред-

назначаясь исключительно для жителей и их гостей. В данном анализе отмечены последствия недавних военных действий, приведших к разрушению отдельных улиц [19].

Транспортная система сирийских городов включает несколько типов транспортных средств (ТС), которые можно классифицировать следующим образом:

- микроавтобусы для перевозки пассажиров внутри города, которые вмещают небольшое количество и являются наиболее используемыми;
- внутренние автобусы, которые в границах города могут вмещать до 40 пассажиров;
- частные автомобили.

В сирийских городах часто применяются велосипеды и мотоциклы, что приводит к смешанному движению.

В табл. 3 представлены очевидные транспортные проблемы в городе.

Транспортные проблемы достаточно обширны, и реорганизовать их с нуля представляется невозможным, поэтому следует рассмотреть перечень проблем в порядке их приоритетности:

- общественный транспорт: сеть и транспортные средства, вместимость и система эксплуатации;
- пешеходные маршруты и тротуары, перекрестки и общественные пространства;
- велосипедный транспорт: система, маршруты и правила;
- парковки и парковочные места.

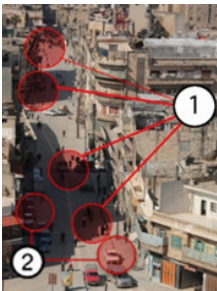
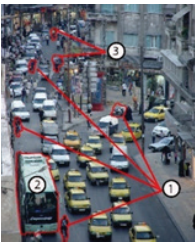
При изучении транспортных проблем исторического центра города выделили значимые элементы каждой улицы, как показано на рис. 2. Затем был проведен комплексный анализ с целью определения приоритетов развития каждой улицы. В ходе анализа рассмотрен широкий перечень элементов, привлекающих внимание, которые разделены на различные классификации, включая культурные артефакты, коммерческие элементы, административные объекты, рекреационные пространства, религиозные достопримечательности и местные/исторические рынки.

Для систематической оценки потенциала развития каждой улицы принята цифровая система ранжирования от 1 до 7. Эти значения позволяют оценить значимость каждой улицы с точки зрения ее потенциала для развития города и вовлечения в него местного сообщества. Более высокое числовое значение, например 1, указывает на то, что улицы характеризуются высоким уровнем обслуживания, культурным богатством и другими желательными элементами. И наоборот, более низкое значение, на-

⁵ Bianca S.A., Davies P., Fülcher W. The re-development of the Bab Al-Faraj area in Aleppo: The Syrian Arab Republic — (mission) // UNESCO. Paris, 1983. URL: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000059122>

Табл. 3. Анализ проблем движения транспорта и пешеходов в историческом центре Алеппо

Table 3. Clarification of the traffic problems in Aleppo city centre

Изображение Photo	Выводы по анализу Analysis conclusions	
	1	Отсутствуют пешеходные переходы вдоль жилой улицы There are no pedestrian crossings along the residential street
	2	Отсутствие свободных парковочных мест для личных автомобилей и размещение некоторых автомобилей на тротуаре или параллельно улице вдоль тротуара Lack of available parking spaces for private cars and placement of some cars on the sidewalk or parallel to the street along the sidewalk
	1	Отсутствует четкое разделение (соответствующая высота тротуара — дорожное ограждение) между пространством, предназначенным для пешеходов (тротуар), и пространством, предназначенным для движения транспортных средств There is no clear separation (suitable sidewalk height — road barrier) between the space designated for pedestrians (sidewalk) and the space designated for vehicle movement
	2	Явное перекрытие движения пешеходов и транспортных средств на выделенной дороге, что подвергает водителя и пешеходов риску ДТП A clear overlap of pedestrian traffic with vehicles on the designated road, exposing the driver and pedestrians to the risk of an accident
	1	Предусмотрены дорожки для велосипедистов, что приводит к смешению их движения с автомобилями There are tracks for bicycles, which leads to mixing of their movement with cars
	2	Остановки и пути общественного транспорта отсутствуют There are no stops or paths for public transport
	3	Замечено смешение пешеходов с автомобилями, общественным транспортом, велосипедами и мотоциклами в пределах уличного пространства Noticed a mixture of pedestrians with cars, public transport, bicycles and motorcycles within the street space

пример 7, означает, что улицы имеют относительно низкий приоритет из-за отсутствия таких привлека- тельных элементов.

Цифровые данные представлены в виде систе- мы цветового кодирования с использованием раз- личных оттенков зеленого цвета. Данная цветовая схема разработана таким образом, чтобы органично интегрироваться в генеральный план центра города, обеспечивая четкое и понятное представление при- оритетов развития каждой улицы. В табл. 4 приве- дены значения, присвоенные каждой улице, а также соответствующие им оттенки зеленого цвета.

Исследование показало, что улицы с высоким рейтингом сосредоточены в центре города вбли- зи исторического замка и торгового рынка, такие как Castle Street и Khan Al-Wazir. Эти улицы богаты культурным наследием, торговыми и административ- ными элементами, привлекательными как для жите- лей, так и для туристов. Необходимо включить этот район в будущие планы развития туризма. Что каса- ется других улиц с более низким рейтингом, кото-

рые в основном служат связующим звеном между городом и его историческим центром, например улицы Мухаммада Бека или ремесленных рынков, то предложение авторов заключается в обеспечении сохранности уличной инфраструктуры и дорожно- го покрытия таким образом, чтобы они были удоб- ны для пешеходов и автомобилей, и в то же время соответствовали международным стандартам про- странственного проектирования улиц, что требуется для туристических целей, которые могут быть выде- лены приоритетно по сравнению с другими обычны- ми улицами. Графическое представление результатов ранжирования улиц представлено на рис. 2.

Метод оценки уровня обслуживания (LOS)

Уровень обслуживания (LOS) — это важный и детальный показатель качества, оценивающий экс- плуатационные условия в транспортном потоке. Дан- ный показатель изучает основные аспекты городской мобильности, охватывая такие параметры, как ско- рость, время в пути, маневренность, прерывистость



Рис. 2. Схема ранжирования улиц в историческом центре Алеппо по их ценности для реконструкции
Fig. 2. A plan with the evaluation of the streets in the historical centre of Aleppo

движения, комфорт и удобство. Для каждого типа объектов, в отношении которых доступны процедуры анализа, выделяется шесть различных уровней LOS. Эти уровни, обозначенные от А до F, представляют собой диапазон от идеальных условий эксплуатации (LOS A) до наименее желательных (LOS F)⁶.

Уровень обслуживания подразделяется на шесть уровней в зависимости от условий движения:

Уровень А: характеризуется полным свободным движением автомобилей и большой возможностью выбора скоростей, а также возможностью маневрирования.

Уровень В: означает сбалансированное движение по улице, при котором водитель начинает ощущать присутствие других ТС, но возможность выбора скоростей практически полная, а возможность маневрирования меньше, чем на уровне А.

Уровень С: движение сбалансировано, но ТС оказывают явное влияние на стиль вождения, при этом выбор скорости ограничен, а маневрирование осуществляется с большой осторожностью и осмотрительностью из-за присутствия других транспортных средств.

Уровень D: движение также сбалансировано, но возможность маневрирования и выбора скорости ограничена в случае высокой плотности движения, что значительно снижает комфорт движения,

а при увеличении значений интенсивности возникает помеха движению.

Уровень E: интенсивность движения на улице равна или близка к значению фактической пропускной способности, этот уровень характеризуется низкими скоростями, вынужденными маневрами и большими препятствиями для движения, что иногда приводит к остановке ТС.

Уровень F: движение ограничено, причем количество автомобилей превышает значение интенсивности, автомобили образуют большие очереди, которые движутся в виде пропусков [20–22].

Концепция уровня обслуживания оказывается весьма значимой в области градостроительства, особенно в исторических центрах городов. Исторические районы, богатые культурным и архитектурным наследием, часто сталкиваются с проблемой тонкого баланса между сохранением исторической значимости и удовлетворением современных городских требований. В исторических центрах городов с узкими улицами и сложной планировкой LOS помогает определить зоны, где можно оптимизировать транспортный поток, пешеходную доступность и общую мобильность города. LOS позволяет планировщикам адаптировать мероприятия и улучшения к конкретным требованиям, обеспечивая эффективный баланс между сохранением исторического наследия и современной городской функциональностью.

Для оценки уровня обслуживания улиц использовалась комплексная методика, включающая ряд систематических этапов. Определена скорость свободного потока — скорость, с которой автомобиль движется

⁶ Capacity, level of service, fundamentals of highway capacity analysis // Traffic Engineering Lecture. URL: https://pecivilexam.com/Study_Documents/Trans-Materials-Online/Level-of-Service-HIGHWAYS.pdf

Табл. 4. Оценка приоритета реконструкции улицы, основанная на анализе ее функционального наполнения

Table 4. The streets priority evaluation based on the element’s location

Название улиц Streets name	ОКН Cultural heritage sites	Религиозные здания Religious buildings	Коммерческие здания Commercial buildings	Рынки Markets	Рекреационные здания Recreation buildings	Административные здания Administrative buildings	Общее количество Total number	Приоритет Priority
Мохамеда Фареса Mohamed Fares street	2	2	2	1	1	–	9	5
Мохамеда Бека Mohamed Bek street	1	2	–	–	–	–	3	7
Аль-Хандак Al-Khandaq street	2	1	9	–	1	1	14	3
Тюрьма Prison street	4	5	–	–	–	2	11	4
Баб Антакья Bab Antakya street	4	2	5	–	4	1	16	2
Мутанаби Mutanabi street	1	–	3	–	1	–	4	7
Улица Антар Antar street	2	1	3	–	1	2	9	5
Улица Кавакиби Kawakibi street	–	–	4	–	3	1	8	6
Саад бин Аль-Аас Saad bin Al A’as street	2	4	3	–	2	2	13	4
Улица Замков Castle street	4	3	3	1	6	6	23	1
Хан Аль-Вазир Khan Al-Wazir street	2	2	6	1	2	1	14	3
Семь Бахрат Seven Bahrat street	–	2	10	–	2	2	16	2
Хан аль-Харир Khan Al-Harir street	2	–	5	–	2	1	10	5
Баб Назлат Акаба Bab Nazlat Akaba street	2	3	6	–	3	–	14	3
Рынок Ал-Нахасин Al-Nahasin Market	2	3	4	1	–	–	15	3
Рынок Эль-Зарб El Zarb Market	1	1	2	1	2	1	8	6
Мыльный рынок Soap Market	–	1	3	1	2	–	7	6
Рынок Аль Фарин Al Farin Market	–	1	2	1	–	–	4	7
Рынок Баб Антакья Bab Antakya Market	1	2	4	1	2	2	12	4
Рынок Аль-Сакти Al Sakti Market	–	2	2	1	–	–	4	7
Рынок Аль-Жух Al Jukh Market	–	–	2	1	2	–	5	7

по обозначенной городской улице в периоды низкого трафика, когда все сигналы установлены на зеленый цвет на протяжении всего маршрута. Это исключает любые задержки на сигнальных перекрестках, даже в непиковые часы. Все измерения проводились с использованием стратегического подхода.

Табл. 5. Характеристики городских улиц, используемые в исследовании
Table 5. Urban streets functional and design categories used in the research

Категория дизайна Design category	Функциональная категория Functional category		По умолчанию, км/ч Default, km/h
	Главная артерия Principal Arterial street	Малая артерия Minor Arterial street	
Высокоскоростной High-speed	I	N/A	80
Загород Suburban	II	II	65
Промежуточный Intermediate	III	III или IV / III or IV	55
Город Urban	IV	IV	45

Несколько поездок были спланированы в период свободного движения с 6 до 7 ч. Кроме того, поездки планировались в часы пик с 11 до 13 ч с целью установить характер движения в часы пик. Для получения достоверных данных совершено несколько поездок по каждой улице, что служит важным компонентом методики. Три поездки осуществлены в часы пик, чтобы рассчитать среднюю скорость и время в пути. Кроме того, существенную роль в определении играет функциональная и проектная классификация магистрали. Городские улицы делятся на четыре категории (I, II, III и IV). Функциональная категория далее делилась на основные и второстепенные магистрали, а проектная категория — на скоростные, пригородные, промежуточные и городские (табл. 5). Такой подход позволил провести комплексную оценку уровня обслуживания.

Для оценки уровня обслуживания городских улиц используется комплексный параметр, представленный в табл. 6, в котором ключевым фактором является средняя скорость движения. Указанный критерий находит-

ся в полной зависимости от конкретной классификации городских улиц, определяемой категориями, перечисленными в таблице. Эти классификации — основополагающие при оценке и классификации эффективности и полезности городских улиц. Классификация важна для получения представления об эффективности и совершенстве всей системы городских улиц, что в значительной степени помогает осознать транспортные потоки в городской среде.

Для определения уровня обслуживания использовалась методика расчета средней скорости движения ТС в центре Алеппо. Согласно полученным результатам, действительная скорость не превышала 45 км/ч, что служит важным инструментом для выявления участков с проблемами дорожного движения. Кроме того, данная методика позволяет последовательно оценить причины возникновения этих проблем, что облегчает выработку соответствующих мер. Таким образом, применение данного процесса измерения необходимо

Табл. 6. Основные характеристики уровней обслуживания LOS, согласно методологии HCM 2000⁷
Table 6. Determination of the service level in accordance with the HCM 2000 methodology⁷

Класс городских улиц Urban street class	Классификация улиц Street classification			
	I	II	III	IV
Поле изменения скорости свободного потока, км/ч Free flow rate change field, km/h	72–90	55–72	48–55	40–55
Типовая скорость потока, км/ч Typical flow rate, km/h	80	>64	>53	>48
A	>68	>56	>48	>40
B	>55	>45	>38	>31
C	>43	>35	>29	>21
D	>34	>27	>23	>14
E	>26	>21	>16	>11
F	<=26	<=21	<=16	<=11

⁷ High Capacity Manual 2000, chapter 15, Urban Streets, Transportation Research Board, USA, 2000. URL: https://sfnavarro.files.wordpress.com/2008/08/highway_capacital_manual.pdf

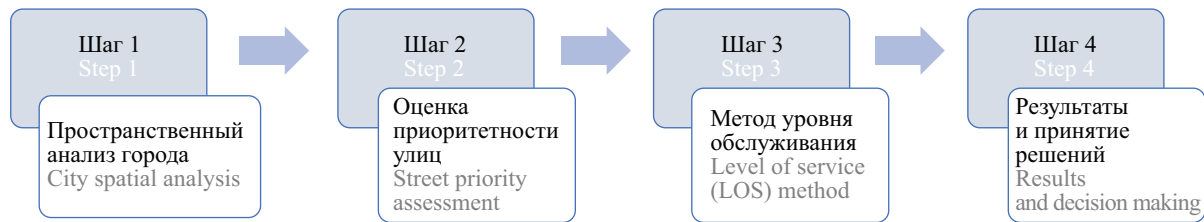


Рис. 3. Порядок проведения исследования

Fig. 3. Methodological steps of the research

для улучшения управления и оптимизации городского транспортного потока.

Методология исследования

В данном исследовании предпринята попытка определить LOS улиц в историческом центре Алеппо с целью получения актуальных сведений для принятия обоснованных решений по планированию. Методология исследования носит комплексный характер и состоит из четырех основных этапов (рис. 3).

1. Пространственный анализ города. На первом этапе исследования был проведен детальный анализ структуры и географического положения города. Определены границы исторического центра, выполнены глубокое исследование классификации улиц, сложности транспортной сети и детальное изучение существующих транспортных проблем. Этот комплексный пространственный анализ, дающий полное представление о городской структуре, заложил основу для последующих этапов.

2. Оценка приоритетности улиц. На втором этапе осуществлен функциональный анализ элементов, расположенных на улице, на основе результатов пространственного анализа города. Цель состояла в том, чтобы предложить систему приоритетов для оценки важности развития каждой улицы. Оценка основывалась на выявлении элементов, привлекающих население, что позволило получить более глубокое представление о различной важности улиц в городской структуре.

3. Метод оценки уровня обслуживания. Третий этап характеризуется комплексной оценкой уровня обслуживания выделенных улиц в центре Алеппо. Для оценки использовалась технология LOS и измерялись такие показатели, как средняя скорость и интенсивность движения автомобилей. С помощью методики сделана попытка количественно оценить эффективность транспортной инфраструктуры и получить информацию о том, насколько улицы способствуют движению ТС.

4. Результаты и принятие решений. Заключительный этап исследования включал анализ полученных результатов и последующее принятие решений. Для того чтобы градостроительные действия были основаны на прочной аналитической базе, использованные в исследовании методы сыграли

ключевую роль в определении улучшений и оптимизации выбранных улиц.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Оценка LOS исторических улиц Алеппо

Исследование посвящено центральным улицам города, где осуществляется разнообразная экономическая и коммерческая деятельность. Эти улицы соединяют коммерческие и жилые районы и являются жизненно важными для поддержания функциональности города. С ростом количества автомобилей в городе значительно увеличились пробки в часы пик. Постоянные пробки приводят к росту числа ДТП и хаосу, что связано с отсутствием эффективной системы управления движением на исторических улицах Алеппо.

В исследовании также представлен комплексный анализ текущей ситуации. Для полной характеристики улиц предлагается подробная система классификации, основанная на двух основных факторах: проценте пешеходного движения и важности улицы с точки зрения обслуживания (классифицируется как главная, второстепенная или пешеходная улица). На рис. 4 проиллюстрирована система классификации, в графическом виде представлены различные типы улиц и их относительная важность в городской среде.

Характеристики этих улиц сильно отличаются, даже в пределах одной улицы (длина, количество полос движения и их ширина, медиана, количество светофоров и время их работы), поэтому каждая улица изучалась и описывалась отдельно.

В исследование включены следующие улицы: Мохамеда Фареса, Мохамеда Бека, Аль-Хандак, Тюрьмы, Баб Антакья, Баб Аль-Хаидид, Мутанаби, Антар, Кавакиби, Саад бин Аль Аас, Замковая, Хан Аль-Вазир, Семь Бахрат, Хан Аль Харир, Баб Назлат Акаба, Аль-Аббасийин, Аль Машатия, Кади Аскара.

В результате проведенного ранее уточнения методики оценки уровня обслуживания и использования табл. 6, в которой рассматривалась классификация улиц в историческом центре, в дополнение к измерениям, проведенным на каждой из указанных улиц в периоды свободного движения и в часы пик, для получения средних значений скорости стало возможным получить оценку уровня обслуживания улиц (табл. 7).

Совмещение двух методов оценки городских улиц позволяет получить комплексный подход, объединяющий оценку плотности движения (измеряе-



Рис. 4. Результаты анализа условий движения транспорта и пешеходов в историческом центре Алеппо

Fig. 4. Transportation analysis of the area, the historical centre of Aleppo

мую через уровень обслуживания) и функциональной значимости дорожного пространства. Такая интеграция дает возможность разрабатывать тонкие решения для городского планирования и развития, учитывающие сложную взаимосвязь между транспортным потоком и значимостью каждой улицы.

Табл. 7. Оценка уровня обслуживания ключевых улиц в историческом центре города Алеппо

Table 7. A level of service assessment of the streets in the historic centre of Aleppo

Название улицы Streets name	Количество полос Number of lanes	Длина улицы, м Street length, m	Скорость свободного потока FFS, км/ч Free flow rate FFS, km/h	Средняя скорость движения в час пик Average rush hour speed, km/h	LOS
Мохамеда Фареса Mohamed Fares street	4 двухсторонние 4 two-way	1040	48,5	15,6	D
Мохамеда Бека Mohamed Bek street	4 двухсторонние 4 two-way	1260	40,8	35,5	B
Аль-Хандак Al-Khandaq street	2 двухсторонние 2 two-way	450	45,7	23,2	C
Тюрьма Prison street	2 двухсторонние 2 two-way	575	45,2	12,3	E
Баб Антакья Bab Antakya street	2 двухсторонние 2 two-way	824	36,4	28,6	C
Баб Аль Хадид Bab Al Hadid street	2 двухсторонние 2 two-way	450	40,5	24,2	D
Мутанаби Mutanabi street	2 двухсторонние 2 one-way	1220	30,6	25,2	C
Улица Антар Antar street	2 односторонние 2 one-way	640	40,5	12,8	E
Улица Кавакиби Kawakibi street	2 односторонние 2 one-way	340	44,6	40,3	A

Окончание табл. 7 / End of the Table 7

Название улицы Streets name	Количество полос Number of lanes	Длина улицы, м Street length, m	Скорость свободного потока FFS, км/ч Free flow rate FFS, km/h	Средняя скорость движения в час пик Average rush hour speed, km/h	LOS
Саад бин Аль-Аас Saad bin Al Aas street	2 односторонние 2 one-way	819	40,3	18,6	D
Улица Замков Castle street	2 двухсторонние 2 two-way	690	37,5	32,3	B
Хан Аль-Вазир Khan Al-Wazir street	2 двухсторонние 2 two-way	220	40	10,3	F
Семь Бахрат Seven Bahrat street	2 двухсторонние 2 two-way	360	46,5	33,4	B
Хан аль-Харир Khan al-Harir street	2 односторонние 2 one-way	420	35,3	11	F
Баб Назлат Акаба Bab Nazlat Akaba street	2 односторонние 2 one-way	660	34,5	16,7	D
Аль-Аббасийин Al-Abbasiyyin street	2 двухсторонние 2 two-way	627	40	13	E
Аль-Машатия Al Mashatiya street	2 двухсторонние 2 two-way	843	42	15,5	D
Кади Аскара Qadi Askara street	2 односторонние 2 one-way	460	45	31,5	B



Рис. 5. Классификация улиц по условиям уровня обслуживания LOS

Fig. 5. The classification of streets according to the LOS method

Важным результатом такой интеграции является определение приоритетности улиц. Оно основано на детальном изучении различных элементов и преобладающих условий движения. Результаты оценок представлены на карте (рис. 5), которая служит подробным справочником, отображающим достигнутый уровень обслуживания каждой улицы, а также обеспечивает понимание пространственной динамики за счет обозначения каждого уровня обслуживания отдельной цветовой категорией.

Оценка уровня обслуживания улиц требует комплексной категоризации транспортной сети в историческом центре. Такая классификация не только определяет текущее состояние улиц, но и служит основой для разработки стратегий по улучшению транспортной сети в городе. Важное значение в этом процессе имеет классификация улиц по категориям развития (рис. 6):

- 1) улицы со значениями (А–В) были объединены в категорию № 1, это улицы, которые хорошо работают;
- 2) улицы с ценностями (С–D) объединены в категорию № 2, это улицы, требующие частичной регенерации — только благоустройства или целенаправленных действий;

3) объединение значений (Е–F) в категорию № 3 — улицы, требующие изменения профиля, полной реконструкции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Следует отметить, что данное исследование сконцентрировано на развитии транспортных сетей в исторических центрах сирийских городов на примере Алеппо. Исследование показывает важность признания и сохранения уникальности исторических улиц, чтобы не допустить возникновения градостроительных проблем при реконструкции. С помощью комплексной методологии, включающей многоуровневый анализ и использование системы классификации уровней обслуживания (LOS), выявляются улицы со значительными проблемами и приводится руководство по определению приоритетности предложений по развитию для повышения безопасности пешеходов и устойчивого развития.

Методология пространственного анализа, примененная в работе, позволяет создать систему классификации улиц, которая решает проблемы дорожного движения и создает основу для дальнейшего изучения концепций городского развития. Важно отметить, что результаты исследования выходят

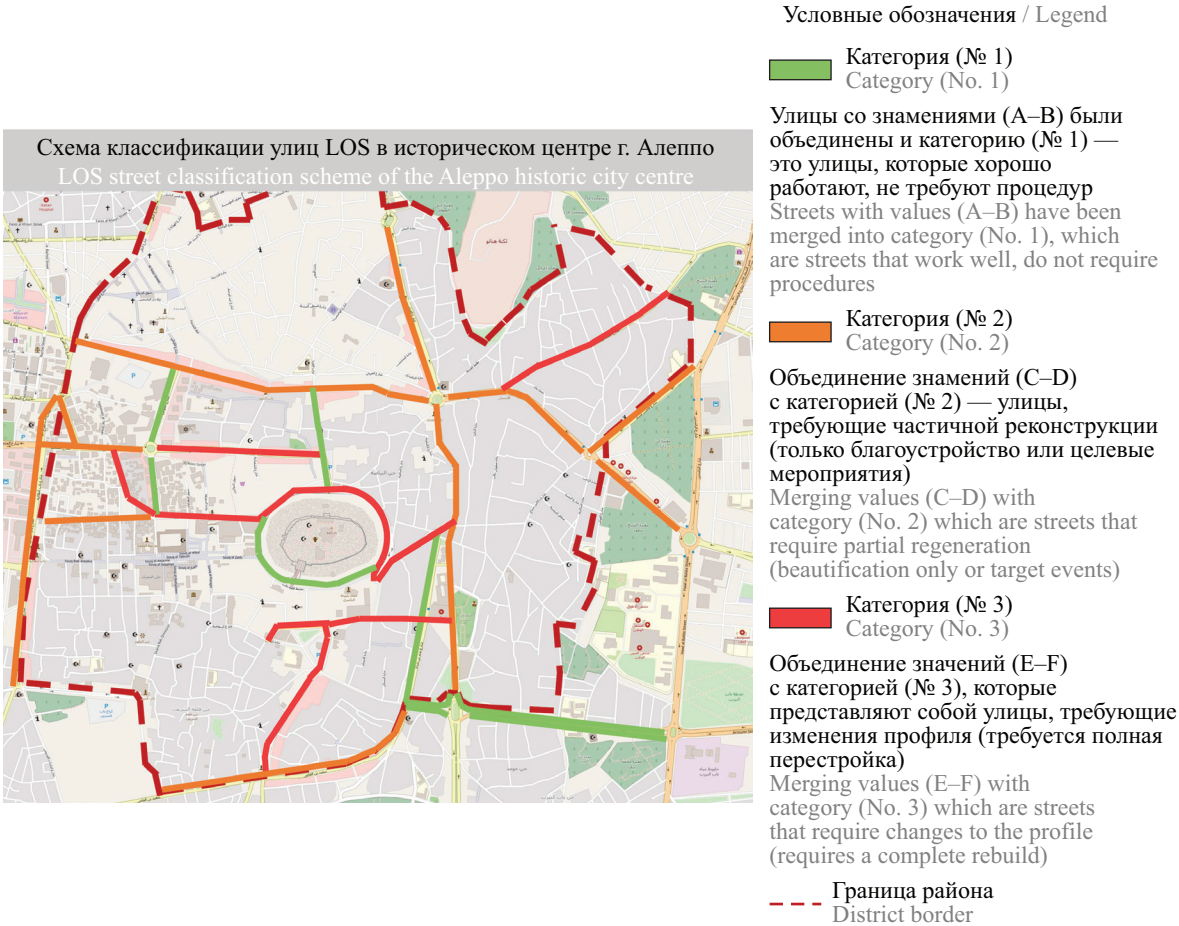


Рис. 6. Классификация улиц по требуемым реконструктивным мероприятиям

Fig. 6. The classification of streets according to the method (LOS)

за рамки Алеппо и могут быть использованы в других исторических городах. Исследование способствует созданию в будущем информационной базы данных, объединяющей решения в области туризма и доступности для поддержки развития транспортной инфраструктуры, обеспечения устойчивости и безопасности исторических городов в мире.

Рекомендации исследования направлены на поддержку разработки и интеграции информационных баз данных, связанных с туризмом, использование интерактивных решений для улучшения транспортной инфраструктуры и общественного пространства. Для эффективной адаптации к развивающимся технологическим системам приоритет должен быть отдан изучению концепции интеллектуального го-

родского развития. Лицам, принимающим решения, и градостроителям рекомендуется выделять приоритетные (категория А) и важные для туризма улицы для обеспечения долгосрочной устойчивости городов с учетом принципов устойчивого развития. Международные знания и опыт могут быть использованы при развитии исторических городов для создания общего ресурса лучших практик по улучшению городских пространств в мире. Настоящее исследование закладывает основу для разработки комплексной стратегии по улучшению общественного пространства на улицах исторических городов. Оно подчеркивает важность формирования устойчивой, безопасной и доступной городской среды, которая отвечает интересам всех жителей.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Gargiulo C., Sgambati S.* Active mobility in historical centers: towards an accessible and competitive city // *Transportation Research Procedia*. 2022. Vol. 60. Pp. 552–559. DOI: 10.1016/j.trpro.2021.12.071
2. *Blanco I., Bonet J., Walliser A.* Urban governance and regeneration policies in historic city centres: Madrid and Barcelona // *Urban Research & Practice*. 2011. Vol. 4. Issue 3. Pp. 326–343. DOI: 10.1080/17535069.2011.616749
3. *Carrión M.F.* The historical centre as an object of desire. 2005.
4. *Салмо А., Щербина Е.В., Алибрахим Л.Я.* Architectural and urban identity of Homs city // *Вестник МГСУ*. 2021. Т. 16. № 10. С. 1285–1296. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.10.1285-1296. EDN IGNNEQ.
5. *Данилина Н.В., Теплова И.Д.* «Устойчивая» улица — формирование общественных пространств на городских улицах // *Экология урбанизированных территорий*. 2018. № 4. С. 74–80. DOI: 10.24411/1816-1863-2018-14074. EDN YYFSYP.
6. *Rogers P.P., Jalal K.F., Boyd J.A.* An introduction to sustainable development. London : Routledge, 2007. Pp. 301–305. DOI: 10.4324/9781849770477
7. *Nasser N.* Planning for urban heritage places: reconciling conservation, tourism, and sustainable development // *Journal of Planning Literature*. 2003. Vol. 17. Issue 4. Pp. 467–479. DOI: 10.1177/0885412203017004001
8. *Щербина Е.В., Данилина Н.В.* Градостроительные аспекты проектирования устойчивой городской среды // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2014. № 11 (94). С. 183–186. EDN TALHUH.
9. *Ibrahim S.* Mapping spatial social aspects of urban recovery in contested cities: A case of the historic commercial center of the ancient city of Aleppo // *Proceedings HERITAGE 2022 — International Conference on Vernacular Heritage: Culture, People and Sustainability*. 2022. DOI: 10.4995/HERITAGE2022.2022.15764
10. *Тафия М.А.* Tourism development in Aleppo after the war // *Инновации. Наука. Образование*. 2021. № 32. С. 755–772. EDN FNOKZI.
11. *Swaia B.* Destiny of urban heritage in transformation of Syrian Cities (Case Study Aleppo City) // *The First International Conference for Urban Heritage in the Islamic Countries (UHIC)*. 2010.
12. *Kousa C., Pottgiesser U.* Development plan strategies of old Aleppo City and sustainable development goals between theory and practice // *LDE Heritage Conference on Heritage and the Sustainable Development Goals*. 2021. No. 10. Pp. 437–447.
13. *Chibli M.* The Local Agenda 21 for Old Aleppo: Towards a sustainable urban settlement. Sustainable Building. Rotterdam : In-house Publishing, 2002. No. 6. Pp. 2041–2047.
14. *Vincent L., Sergie L.* An urban history of Aleppo // *Aleppo: Rehabilitation of the Old City*. 2005. No. 10. Pp. 552–562.
15. *Fangi G.* Documentation of some cultural heritage emergencies in Syria In August 2010 by spherical photogrammetry // *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2015. Vol. II-5/W3. Pp. 401–408. DOI: 10.5194/isprsannals-II-5-W3-401-2015
16. *Kousa C., Pottgiesser U., Lubelli B.* Post-Syrian war residential heritage transformations in the old city of Aleppo: Socio-cultural sustainability aspects // *Sustainability*. 2021. Vol. 13. Issue 21. P. 12213. DOI: 10.3390/su132112213
17. *Kotsoni A., Dimelli D.* Urban regeneration of the historic center of Aleppo in Syria // *The 7th International Conference on Architecture and Built Environment*. 2020. No. 15. Pp. 227–212.
18. *Salkini H., Swaid B., Greco L., Lucente R.* Developing a multi-scale approach for rehabilitating the traditional residential buildings within the old city of Aleppo

(Syria) // *Le Vie dei Mercanti*. 2016. No. 11. Pp. 443–432.

19. Shaheen S. Urban transportation problems and issues in homs-syria: analytical study of the current condition and proposing future solutions // *International Journal of Engineering and Management Sciences*. 2021. Vol. 6. Issue 3. Pp. 30–42. DOI: 10.21791/IJEMS.2021.3.3

20. Bhuyan P.K., Nayak M.S. A review on level of service analysis of urban streets // *Transport Reviews*. 2013. Vol. 33. Issue 2. Pp. 219–238. DOI: 10.1080/01441647.2013.779617

21. Chen K.C., Larry S.T. Determination of Level of Service (LOS) on different roads in kuching area (a case study) // *Journal of Civil Engineering, Science and Technology*. 2009. Vol. 1. Issue 1. Pp. 1–6. DOI: 10.33736/jcest.61.2009

22. Eads B.S., Rouphail N.M., May A.D., Hall F. Freeway facility methodology in highway capacity manual 2000 // *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2000. Vol. 1710. Issue 1. Pp. 171–180. DOI: 10.3141/1710-20

Поступила в редакцию 5 декабря 2023 г.

Принята в доработанном виде 5 декабря 2023 г.

Одобрена для публикации 22 декабря 2023 г.

ОБ АВТОРАХ: **Нина Васильевна Данилина** — доктор технических наук, профессор кафедры градостроительства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 686739, ResearcherID: AAE-7301-2020, ORCID: 0000-0002-9465-6435; nina_danilina@mail.ru;

Лина Алибрахим — аспирант кафедры градостроительства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; ResearcherID: AAK-2569-2021, ORCID: 0000-0002-3332-9190; linaalibrahim26@gmail.com.

Вклад авторов:

Данилина Н.В. — научное руководство, концептуализация, курирование данных и подготовка первоначального проекта.

Алибрахим Л. — методология, формальный анализ, подготовка первоначального проекта, визуализация.

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

REFERENCES

1. Gargiulo C., Sgambati S. Active mobility in historical centers: towards an accessible and competitive city. *Transportation Research Procedia*. 2022; 60:552-559. DOI: 10.1016/j.trpro.2021.12.071

2. Blanco I., Bonet J., Walliser A. Urban governance and regeneration policies in historic city centres: Madrid and Barcelona. *Urban Research & Practice*. 2011; 4(3):326-343. DOI: 10.1080/17535069.2011.616749

3. Carrión M.F. *The historical centre as an object of desire*. 2005.

4. Salmo A., Scherbina E.V., Alibrahim L.Y. Architectural and urban identity of Homs city. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2021; 16(10):1285-1296. DOI:10.22227/1997-0935.2021.10.1285-1296. EDN IGNNEQ. (rus.).

5. Danilina N.V., Teplova I.D. “Sustainable” street — formation public spaces on city streets. *Ecology of Urbanized Territories*. 2018; 4:74-80. DOI: 10.24411/1816-1863-2018-14074. EDN YYFSYP. (rus.).

6. Rogers P.P., Jalal K.F., Boyd J.A. *An Introduction to Sustainable Development*. London, Routledge, 2007; 301-305 DOI: 10.4324/9781849770477

7. Nasser N. Planning for urban heritage places: Reconciling conservation, tourism, and sustainable development. *Journal of Planning Literature*. 2003; 17(4):467-479. DOI: 10.1177/0885412203017004001

8. Shcherbina E., Danilina N. Town planning aspects of designing sustainable urban environment. *Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2014; 11(94):183-186. EDN TALHUH. (rus.).

9. Ibrahim S. Mapping spatial social aspects of urban recovery in contested cities: A case of the historic commercial center of the ancient city of Aleppo. *Proceedings HERITAGE 2022 — International Conference on Vernacular Heritage: Culture, People and Sustainability*. 2022. DOI: 10.4995/HERITAGE 2022.2022.15764

10. Tafia M.A. Tourism development in Aleppo after the war. *Innovations. Science. Education*. 2021; 32:755-772. EDN FNOKZI. (rus.).

11. Swaid B. Destiny of urban heritage in transformation of Syrian cities (Case Study Aleppo City). *The First International Conference for Urban Heritage in the Islamic Countries (UHIC)*. 2010.

12. Kousa C., Pottgiesser U. Development plan strategies of old Aleppo City and sustainable development goals between theory and practice. *LDE Heritage Conference on Heritage and the Sustainable Development Goals*. 2021; 10:437-447.

13. Chibli M. *The Local Agenda 21 for Old Aleppo: Towards a sustainable urban settlement. Sustainable Building*. Rotterdam, In-house Publishing, 2002; 6:2041-2047.

14. Vincent L., Sergie L. An urban history of Aleppo. *Aleppo: Rehabilitation of the Old City*. 2005; 10:552-562.
15. Fangi G. Documentation of some cultural heritage emergencies in Syria in August 2010 by spherical photogrammetry. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2015; II-5/W3:401-408. DOI: 10.5194/isprsannals-II-5-W3-401-2015
16. Kousa C., Pottgiesser U., Lubelli B. Post-syrian war residential heritage transformations in the old city of Aleppo: Socio-Cultural Sustainability Aspects. *Sustainability*. 2021; 13(21):12213. DOI: 10.3390/su132112213
17. Kotsoni A., Dimelli D. Urban regeneration of the historic center of Aleppo in Syria. *The 7th International Conference on Architecture and Built Environment*. 2020; 15:227-212.
18. Salkini H., Swaid B., Greco L., Lucente R. Developing a multi-scale approach for rehabilitating the traditional residential buildings within the old city of Aleppo (Syria). *Le Vie dei Mercanti*. 2016; 11:443-432.
19. Shaheen S. Urban transportation problems and issues in Homs-Syria: Analytical study of the current condition and proposing future solutions. *International Journal of Engineering and Management Sciences*. 2021; 6(3):30-42. DOI: 10.21791/IJEMS.2021.3.3
20. Bhuyan P.K., Nayak M.S. A review on level of service analysis of urban streets. *Transport Reviews*. 2013; 33(2):219-238. DOI: 10.1080/01441647.2013.779617
21. Chen K.C., Larry S.T. Determination of Level of Service (LOS) on different roads in kuching area (a case study). *Journal of Civil Engineering, Science and Technology*. 2009; 1(1):1-6. DOI: 10.33736/jcest.61.2009
22. Eads B.S., Roupail N.M., May A.D., Hall F. Freeway facility methodology in highway capacity manual 2000. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2000; 1710(1):171-180. DOI: 10.3141/1710-20

Received December 5, 2023.

Adopted in revised form on December 5, 2023.

Approved for publication on December 22, 2023.

BIONOTES: **Nina V. Danilina** — Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Urban Planning; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 686739, ResearcherID: AAE-7301-2020, ORCID: 0000-0002-9465-6435; nina_danilina@mail.ru;

Lina Alibrahim — 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; ResearcherID: AAK-2569-2021, ORCID: 0000-0002-3332-9190; linaalibrahim26@gmail.com.

Contribution of the authors:

Nina V. Danilina — scientific guidance, conceptualization, curation of data and preparation of the initial draft.

Lina Alibrahim — methodology, formal analysis, initial draft preparation, visualization.

The authors declare no conflicts of interest.

Ансамблевые качества исторической застройки текстильных предприятий XIX – начала XX века в условиях реновации архитектурного пространства города

Полина Сергеевна Разумова, Александр Иванович Финогенов
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Проблема реновации сохранившихся исторических текстильных предприятий имеет большое значение для развития городов Центральной России, где сохранилось большое количество ныне малоиспользуемых или бездействующих текстильных фабрик периода XIX – начала XX в. Цель исследования — рассмотрение принципиальных особенностей архитектурно-типологических и конструктивных решений данных объектов архитектурного наследия, анализ их пространственной организации и градостроительного размещения, которые обуславливают формирование их уникального ансамблевого потенциала, сохранение культурных и исторических традиций городов.

Материалы и методы. В результате анализа выявлены факторы, определяющие ценные архитектурно-композиционные и ансамблевые качества исторических объектов. Правильный методический подход к реновации исторических текстильных фабрик должен включать не только новое функциональное наполнение, но и комплексное сохранение ценных архитектурных и ансамблевых качеств их исторической застройки.

Результаты. Целесообразность сохранения и практического использования ценных конструктивных и архитектурно-композиционных качеств старых текстильных предприятий проиллюстрирована на примере разработанного проектного предложения по реновации комплекса объектов текстильной фабрики, размещающейся в территориальной структуре г. Ростов Великий. Показана перспективность их функционального обновления и реновации в современных условиях развития городской застройки.

Выводы. Выявленные ключевые признаки ансамблевого потенциала, гибкость и планировочная приспособляемость рассматриваемых типов зданий к новому функциональному использованию, определяют для проектировщиков возможность их активного практического применения в современных условиях реконструкции и реновации исторических текстильных фабрик, что дает новый стимул для дальнейшего гармоничного развития застройки малых и средних городов России.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: текстильные фабрики, реновация исторической застройки, производственные корпуса, строительные конструкции, ансамблевые качества, архитектурная композиция

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Разумова П.С., Финогенов А.И. Ансамблевые качества исторической застройки текстильных предприятий XIX – начала XX века в условиях реновации архитектурного пространства города // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19. Вып. 1. С. 26–35. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.1.26-35

Автор, ответственный за переписку: Александр Иванович Финогенов, finogenov45@mail.ru.

Ensemble qualities of historical buildings of textile enterprises of the 19th – early 20th centuries in the conditions of renovation of the architectural space of the city

Polina S. Razumova, Alexander I. Finogenov
Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The problem of renovation of the preserved historical textile enterprises is of great importance for the development of the cities of Central Russia, where a large number of now little-used or inactive textile factories of the 19th – early 20th centuries have been preserved. The correct approach to the renovation of historical textile factories should include not only new functional content, but also the comprehensive preservation of the valuable architectural and ensemble qualities of their historical buildings. The aim of the work is to consider the principal features of the architectural, typological and design solutions of these architectural heritage objects, to analyze their spatial organization and urban placement, which fundamentally determine the formation of their unique ensemble potential and the preservation of the cultural and historical traditions of the cities.

Materials and methods. As a result of the analysis the principal factors determining the valuable architectural, compositional and ensemble qualities of these historical objects are identified. The high prospects for their functional renewal and

renovation in the current conditions of urban development are shown.

Results. The expediency of preservation and practical use of valuable structural and architectural-compositional qualities of old textile enterprises is illustrated by the example of the developed project proposal for the renovation of the complex of textile factory facilities located in the territorial structure of Rostov-Velikiy city. The high prospects of their functional renewal and renovation in the modern conditions of urban development are shown.

Conclusions. The key features of ensemble potential, flexibility and plan adaptability of the considered types of buildings to the new functional use, revealed in the work, determine for designers the possibility of their active practical application in modern conditions of reconstruction and renovation of historical textile factories, that will undoubtedly give a new stimulus for the further harmonious development of the built-up areas of small and medium-sized cities of Russia.

KEYWORDS: historical textile factories, renovation of historical buildings, production buildings, building construction, ensemble qualities, architectural composition

FOR CITATION: Razumova P.S., Finogenov A.I. Ensemble qualities of historical buildings of textile enterprises of the 19th – early 20th centuries in the conditions of renovation of the architectural space of the city. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2024; 19(1):26-35. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.1.26-35 (rus.).

Corresponding authors: Alexander I. Finogenov, finogenov45@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Многие города Центральной России, такие как Москва, Иваново, Серпухов, Кострома, Орехово-Зуево, Яхрома, Шуя, Богородск, Ногинск, Дедовск и др., исторически являлись центрами текстильной промышленности России XIX – начала XX в. и до нашего времени сохранили уникальные памятники промышленной архитектуры — комплексы зданий и сооружений текстильных фабрик. Бурный рост текстильного производства был обусловлен эпохой первой промышленной революции в России 1830–1840-х гг. [1]. Этот период связан с развитием сети предприятий-мануфактур полотняной, хлопчатобумажной, суконной и шелкоткацких отраслей [2]. К середине XIX в. данные предприятия отличало наличие высокомеханизированных станков. Эта особенность принципиально определила функциональную и архитектурную типологию предприятий, условия их планировочного развития и градостроительного размещения [3].

Технологический процесс большинства текстильных мануфактур того периода неразрывно связан с размещением в здании сотен прядильных и ткацких станков, приводимых в действие паровыми машинами с централизованной системой продольных механических валов. Типологическая схема принципиально обуславливала формирование четкой продольно-ячейковой структуры протяженного по длине каркасного здания. Структуру и ключевые планировочные параметры зданий диктовали также типы применяемых массовых прядильных и ткацких станков, которые в конечном счете определяли шаги колонн, ширину пролетов и высоту этажей. С начала и к середине XIX столетия в практике строительства текстильных мануфактур широко используется чугунный каркас, который постепенно унифицируется и преобразуется в регулярную модульную сетку с шагом колонн от 2,5 до 3,5 м, пролетами от 4,5 до 6,3 м, с высотой этажа 4,5 м. С последующим развитием технологии и станочного оборудования к концу XIX в. шаги колонн увеличиваются до 4,5 м, пролеты — до 7,2 м,

а высота этажей — до 5,4 м. Позднее к концу XIX – началу XX в. в практике строительства текстильных фабрик в конструкциях каркаса для колонн и перекрытий стали применять железобетон [4].

Особенности используемого в рассматриваемое время механического котельного оборудования цехов и размещения основного станочного оборудования в целом обусловили общий характер объемно-планировочных решений зданий, формируемых в виде 2–4-этажных производственных корпусов шириной от 18,0 до 29,0 м, при значительной протяженности таких корпусов — до 150–200 м. В строительной практике этого периода отсутствовал принцип блокирования производственных отделений [4]. По этой причине всякое расширение производства или выпуск иного вида продукции были планировочно связаны с параллельным размещением на территории предприятия аналогичных по конструкции и этажности новых корпусов с незначительными разрывами между ними, составляющими от 8 до 20 м. Данный прием строчной застройки применялся повсеместно, что также объяснялось необходимостью обеспечения максимально возможного бокового освещения цехов и требованиями естественной вентиляции помещений. Как правило, функционально сопутствующие здания и сооружения, например котельные, водонапорные башни, механические мастерские, планировочно размещались в виде разноэтажных пристроек к протяженному корпусу главного здания (рис. 1) [4, 5].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Таким образом, уже в XIX в. значительная часть действовавших в российских городах текстильных фабрик формировалась в виде единой пространственно организованной системы основных и вспомогательных производственных корпусов. Более того, исторически крупные текстильные мануфактуры являлись градообразующим фактором в структуре развивающихся среднерусских городов [5]. Технология производства, как правило, определяла многотысячный состав рабочего

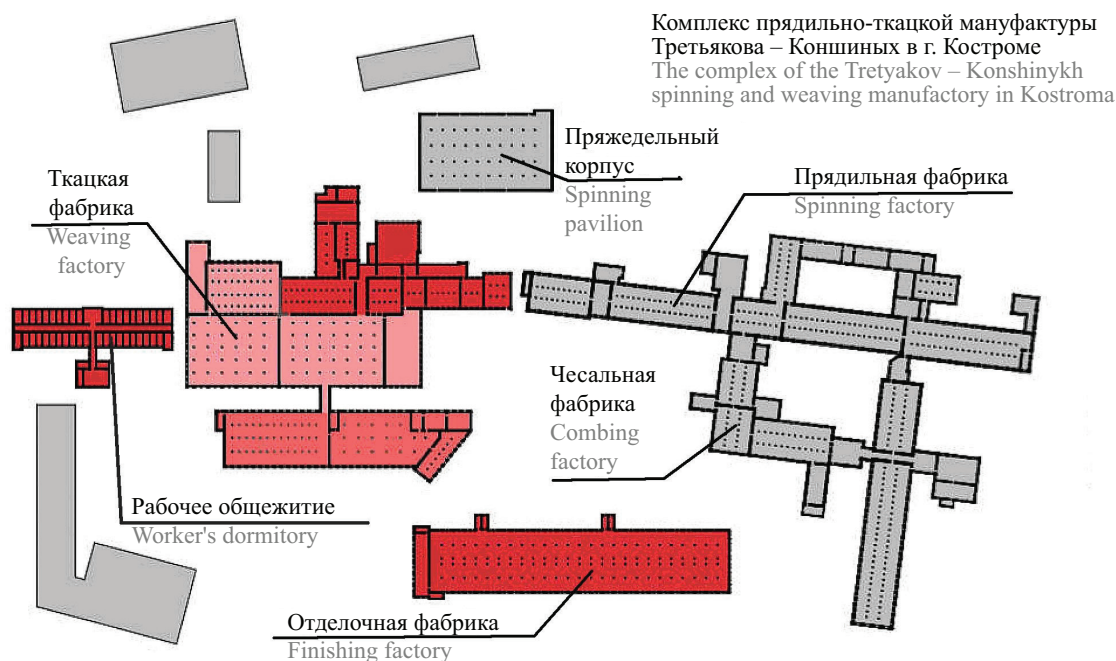


Рис. 1. Функционально-планировочный и архитектурно-типологический состав основных производственных корпусов текстильного предприятия периода XIX в. на примере комплекса бывшей прядильно-ткацкой мануфактуры Третьякова – Коншиных в г. Костроме (рисунок автора)

Fig. 1. Functional-planning and architectural-typological composition of the main production buildings of the textile enterprise of the 19th century — on the example of the complex of the former Tretyakov – Konshin spinning and weaving manufactory in the city of Kostroma

персонала, прибывающего из многих окрестных периферийных поселений. Для проживания такого персонала на территориях многих мануфактур предусматривалось строительство рабочих общежитий, школ, церквей, складских объектов, а также зданий конторского и жилого назначения для управляющего персонала. Территория застройки предприятий характеризовалась организацией четкой схемы транспортных и пешеходных коммуникаций, объединявших производственную зону с районами примыкающей исторической застройки города. Анализ центральных российских городов показывает богатое и неповторимое своеобразие градостроительных схем с размещением старых текстильных центров, исторически связанных с системой существующих городских транспортных коммуникаций, разнообразной по составу структурой окружающей жилой и общественной застройки [3, 5].

Важнейшей конструктивной и типологической особенностью сохранившихся зданий текстильных предприятий периодов строительства конца XVIII – начала XX вв. являлось исключительное использование в строительной практике конструкций несущих стен из красного обожженного кирпича, укладываемого на белом известковом растворе. Толщина таких прочных и долговечных наружных несущих кирпичных стен в зданиях основных сохранившихся корпусов составляет от 600 до 800 мм. Данная особенность принципиально определила архитектурную типологию, ансамблевые качества, неповторимость и свое-

образие краснокирпичной архитектуры большинства фабричных зданий этого периода [6].

Выполнение наружных стен из традиционного для того времени материала дало архитекторам возможность широкого использования классических стилей и приемов пластического художественного оформления обширных фасадных поверхностей производственных корпусов. Архитектурные решения протяженных поверхностей фасадов характеризуют единые ансамблевые решения с применением обильно декорированных элементов развитых карнизных поясов, пилястр, композиционно акцентированных парапетов крыш на выступающих ризалитах, карнизных вставок из белого резного известнякового камня. Эти качества и по сей день неизменно придают русским текстильным фабрикам бесспорную образную узнаваемость, строгую гармонию и связь с традициями поздней русской классики. Четкий и строгий ритм фасадных пилястр, как правило, выразительно дополняется таким же четким пропорционированным ритмом крупноразмерных оконных проемов прямоугольного или арочного очертания, подчеркиваемых надоконными сандриками и подоконными парапетами. Композиция фасадов завершается венчающими карнизами с аттиками и силуэтами вальмовых крыш. Эти элементы вплоть до настоящего времени принципиально определяют единое ансамблевое восприятие основных архитектурных форм исторических фабричных сооружений и их гармоничное масштабное соотношение с окружающей городской застройкой [6, 7].

Перечисленные приемы архитектурной организации использовались в решениях фасадов не только главных, но и вспомогательных корпусов фабрик, что и сегодня обеспечивает их неразрывное стилевое единство. Примерами могут служить исторические производственные здания бывшей Голутвенской мануфактуры на Якиманской наб. в Москве, текстильной мануфактуры на Дербеневской наб. в Москве (рис. 2), текстильной фабрики «Тульма» в г. Тулаев Ярославской области, текстильные фабрики Санкт-Петербурга. Перечисленные объекты, несмотря на их новое функциональное содержание, сохранили свои характерные ансамблевые качества [8].

В последующий период первой половины XX в. эволюционные изменения в совершенствовании технологии и энергетического обеспечения предприятий текстильной отрасли в нашей стране и за рубежом обусловили принципиально новые подходы к проектированию объектов текстильного производства. В основу таких решений было положено формирование новых типов многопролетных одноэтажных блокированных зданий с применением комплексных мероприятий, обеспечивающих значительные объемы производства, комфортные санитарно-экологические параметры производственной среды и окружающего пространства. Существовавшие на тот момент старые текстильные предприятия уже не соответствовали новым требованиям и стали постепенно выводиться из эксплуатации. Наиболее активно этот объективный процесс технологическо-



Рис. 2. Главный фасад производственного корпуса бывшей Голутвенской мануфактуры на Якиманской наб. в Москве с элементами неоклассического стиля, несущий ансамблевые традиции русского промышленного зодчества¹

Fig. 2. The main facade of the production building of the former Golutvenskaya Manufactory on Yakimanskaya Embankment in Moscow with elements of the neoclassical style, bearing the ensemble traditions of Russian industrial architecture¹

¹ МосСтекло. URL: <http://www.project1703655.tilda.ws>

го замещения в нашей стране и за рубежом проявился во второй половине XX в. [9].

В настоящее время во многих вышеперечисленных больших и малых городах сохранились бывшие исторические производственные территории старых текстильных фабрик с неиспользуемыми, а также частично разрушающимися многоэтажными кирпичными корпусами. Ценное свойство этих объектов — долговечность использованных в них конструкций и материалов. Но еще более важная особенность данных исторических объектов — комплекс их ценнейших архитектурно-композиционных и ансамблевых качеств, являющихся культурным наследием школы старой русской промышленной архитектуры. По этой причине многие фабрики и сейчас признаны памятниками архитектуры федерального и регионального значения [5, 10].

Ключевым фактором в оценке художественно-композиционных и ансамблевых качеств большинства исторически сохранившихся комплексов текстильных фабрик служит их интересное градостроительное и архитектурно-ландшафтное размещение в структуре застройки современных городов. Как показывает анализ, фабричные комплексы в прежней структуре городов главным образом исторически размещались на малозастроенных территориях в прибрежной зоне рек и крупных водоемов [11]. При этом последующая городская застройка продолжала развиваться на окружающих периметральных территориях развивающегося города. Такое историческое планировочное размещение объяснялось особенностями ранее использовавшихся технологий в текстильном производстве. Для многих технологических процессов отбеливания, крашения, промывки тканей и вывода отходов требовались значительные объемы потребляемой воды.

Эта особенность определяла принципиальную осевую планировочную ориентацию архитектурных ансамблей главных фабричных корпусов вдоль территорий водоемов. Таким образом, большинство фабричных объектов в виде архитектурно декорированных краснокирпичных и композиционно доминирующих протяженных ансамблевых комплексов в среднерусских городах всегда были вписаны в ландшафты прилегающих водоемов или рек. В других же случаях, при размещении фабричных комплексов в структуре исторической застройки городов, их главные композиционные оси, как правило, были ориентированы на основные магистрали города [12].

Интересными примерами являются существующие исторические архитектурные ансамбли фабричных комплексов с четко организованными планировочными осями, определяемыми схемой размещения главных корпусов (рис. 3).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Как показывает анализ, конструктивная долговечность и прочность большинства сохранившихся

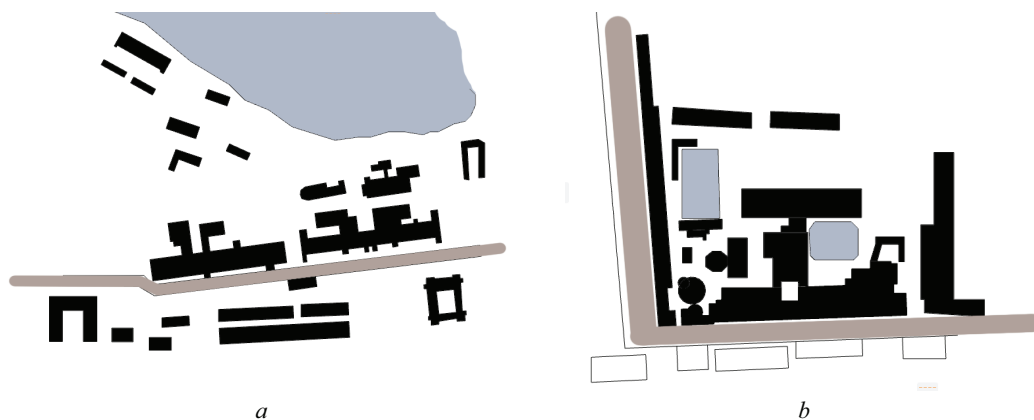


Рис. 3. Схема ансамблевого размещения основных объектов прядильно-ткацкой мануфактуры (строительства 1866–1899 гг.) в г. Раменское Московской области с осевым размещением основных сооружений вдоль прибрежной зоны оз. Борисоглебское (а); схема ансамблевого размещения корпусов суконной и красильной фабрики (строительства 1870-х гг.) в г. Пушкино Московской области с ориентацией композиционных осей главных корпусов на городские транспортные магистрали (b) (рисунк автора)

Fig. 3. Scheme of the ensemble placement of the main facilities of the spinning and weaving manufactory (constructed in 1866–1899) in the city of Ramenskoye, Moscow Region, with the axial placement of the main facilities along the coastal zone of Lake Borisoglebsky (a); scheme of the ensemble placement of the buildings of the cloth and dyeing factory (construction of the 1870s) in the city of Pushkino, Moscow Region with the orientation of the compositional axes of the main buildings to the city transport routes (b) (author's drawing)

фабричных объектов, их уникальный статус в качестве законодательно сохраняемого архитектурного наследия, а также преимущественное градостроительное размещение в структуре центральной части современных российских городов делает их востребованными объектами для реализации процессов девелоперской деятельности и разработки проектных решений по осуществлению процессов поэтапной реновации. Важнейшими факторами для целей реновации являются исключительно ценные вышеперечисленные архитектурно-типологические свойства данных фабричных зданий: ячеистая структура несущего каркаса, оптимальная для общественно-жилой функции высота этажей, наличие развитой регулярной системы фасадного оконного заполнения. Эти свойства изначально определяют возможность эффективного последующего использования бывшего внутрицехового пространства для организации в нем нового максимально разнообразного общественно-жилого функционального наполнения [13, 14].

Примером такой поэтапной реализации проекта реновации служит бывшая территория текстильной мануфактуры «Товарищество Эмиль Циндель» на Дербеневской набережной Москвы-реки, площадью около 8 га, которая ныне реорганизована в многофункциональный Деловой центр «Новоспаский». Сохранена историческая плотная строчная застройка в границах ранее существовавшей производственной территории, все бывшие корпуса тщательно отреставрированы и получили дополнительное завершение в виде развитых мансардных помещений, не нарушивших исторический силуэт застройки [15].

В проекте реновации реорганизованной территории Даниловской мануфактуры в Москве было

предусмотрено и к настоящему времени активно реализовано устройство многофункционального торгово-общественного и делового центра. Проектное решение предусматривало реставрацию фасадных поверхностей корпусов, устройство мансардных надстроек, полное ансамблевое раскрытие фронта исторической застройки со стороны Новоданиловской набережной Москвы-реки (рис. 4).



Рис. 4. Ансамблевая композиция главного корпуса бывшей Даниловской мануфактуры на Новоданиловской набережной в г. Москве в соответствии с проектом осуществленной реновации²

Fig. 4. Ensemble composition of the main building of the former Danilovskaya manufactory on Novodanilovskaya embankment in Moscow, in accordance with the renovation project²

² Архитектурная визуализация. URL: <http://www.archirost.blogspot.com>

Интересными приемами реновации характеризуются производственные зоны других бывших текстильных предприятий, располагающихся на территории Москвы, например: бывший комбинат «Трехгорная мануфактура» на Краснопресненской набережной Москвы-реки, бывшая шелкоткацкая фабрика «Красная Роза» в районе Садового кольца. Проектное решение по функциональной реорганизации бывшей московской текстильной фабрики «Красная Роза» предусматривало организацию новых городских центров торгово-офисного, делового и частично жилого назначения. В решении обоснованно предусматривалось максимально полное визуальное раскрытие архитектурного ансамбля главного северо-восточного фронта фасада комплекса [16, 17].

Следует отметить, что программа комплексной реновации сохранившихся старых текстильных корпусов на территориях малых и средних городов центра России, несмотря на уникальные типологические особенности данных фабричных объектов, до настоящего времени реализуется недостаточно активно. Примерами проведения частичной реновации с практическим сохранением исторической ансамблевой композиции старых фабричных зданий в структуре современной городской застройки являются корпуса текстильной фабрики в г. Иваново, а также корпусов хлопчатобумажного комбината в г. Орехово-Зуеве [18, 19].

В этой связи важный методический интерес представляют проектные предложения по реконструкции бывшей прядильно-ткацкой мануфактуры «Рольма», основанной в 1878 г. и расположенной в прибрежной зоне живописного оз. Неро в г. Ростов Великий Ярославской области. В настоящее время этот хорошо сохранившийся краснокирпичный ансамбль основных и вспомогательных производственных корпусов лишь

частично используется как объект местного торгово-складского назначения. В проектных планах, разработанных в НИУ МГСУ, предложено комплексное применение большинства сохранившихся 2–4-этажных корпусов для размещения межобластного студенческого научно-образовательного кампуса [20, 21].

С этой целью архитектурно протяженное здание наиболее крупного главного производственного корпуса длиной более 150,0 м, с планировочно удобной сеткой колонн $6,9 \times 3,5$ и $6,7 \times 6,15$ м, было предложено использовать для размещения большого числа многофункциональных учебных аудиторий и компьютерных классов. Другие поперечно расположенные корпуса с учетом их планировочного размещения было рекомендовано использовать для взаимосвязанных сопутствующих функций: спортивно-оздоровительного, рекреационно-досугового, лабораторно-экспериментального назначения, а также студенческого общежития. Бывший крупный 4-этажный котельный корпус в новом функционально-планировочном решении предназначен для размещения объектов питания.

Ключевой особенностью перечисленных решений явилась эффективная организация целой сети коротких и удобных пешеходных коммуникаций между отдельными корпусами, для чего практически все внутренние пешеходные коридоры корпусов в составе объектов кампуса соединены продуманной сетью продолжающихся наружных надземных пешеходных галерей. Благодаря такому решению вся сложная система корпусов учебного кампуса представляет собой планировочно и коммуникационно единое доступное многофункциональное пространство (рис. 5) [20].

На рис. 5 показано сформированное ансамблевое решение нового учебного кампуса со стороны организованного пространства главной входной зоны.

Фасадные решения корпусов со стороны главного входа и главной соединительной галереи
Facade solutions of the buildings on the side of the main entrance and the main connecting gallery

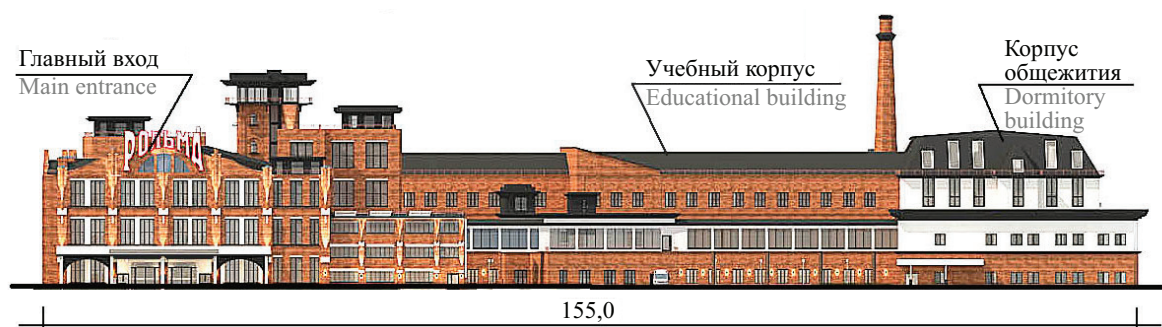


Рис. 5. Проект реновации бывшей прядильно-ткацкой фабрики «Рольма», расположенной в г. Ростов Великий, с функцией создания студенческого научно-образовательного кампуса (проектное предложение НИУ МГСУ, автор М.А. Марковец, руководители А.И. Финогенов, П.С. Разумова). Архитектурный ансамбль западного фасада учебного корпуса со стороны главной входной зоны (рисунки автора)

Fig. 5. Renovation project of the former spinning and weaving factory “Rolma”, located in the city of Rostov Velikiy, with the function of creating a student scientific and educational campus (project proposal of NRU MGSU — author M.A. Markovets, supervisor A.I. Finogenov, P.S. Razumova). The architectural ensemble of the western facade of the educational building from the side of the main entrance area (author's drawing)

Методика осуществления этапов реновации и оценки применяемых функционально-планировочных, градостроительных и архитектурно-композиционных решений в процессе архитектурного проектирования, с максимальным выявлением ансамблевых качеств сохранившихся текстильных предприятий (таблица составлена автором)

Methodology for the implementation of the stages of renovation and evaluation of the applied functional planning, urban planning and architectural compositional solutions in the process of architectural design, with the maximum identification of the ensemble qualities of the remaining textile enterprises (the table was compiled by the author)

Архитектурно-планировочные и художественно-композиционные приемы, рекомендуемые для условий реновации исторических центров текстильной промышленности городов Architectural-planning and artistic-compositional techniques recommended for the conditions of renovation of historic urban textile industry centres	Проведение визуального градостроительного анализа с оценкой новых условий формирования транспортных и пешеходных коммуникаций. Организация, благоустройство и озеленение главных въездных зон, структуры новых пешеходных коммуникаций и входных групп Carrying out a visual urban planning analysis assessing the new conditions for the formation of transport and pedestrian communications. Organization, improvement and landscaping of the main entrance areas, the structure of new pedestrian communications and entrance groups
	Определение состава сохраняемых исторически и архитектурно ценных объектов и сооружений в системе существующей фабричной застройки. Разработка проектов реставрации поверхностей стеновых ограждений с восстановлением элементов исторического декора. Снос второстепенных и ветхих строений с расчисткой территории в целях ее многофункциональной градостроительной реорганизации Determination of the composition of historically and architecturally valuable objects and structures preserved in the system of existing factory buildings. Development of projects for the restoration of wall fence surfaces with the restoration of elements of historical decoration. Demolition of secondary and dilapidated buildings with clearing the territory for the purpose of its multifunctional urban reorganization
	Выявление и сохранение ансамблевых качеств сохранившейся застройки, а также состава композиционно контрастных вспомогательных объектов застройки в виде сооружений водонапорных башен, парознергетических котельных, архитектурно декорированных дымовых труб. Оценка их композиционного влияния в системе новой застройки реорганизуемой территории Identification and preservation of the ensemble qualities of the preserved buildings, as well as the composition of the compositionally contrasting auxiliary building objects in the form of water towers, steam power boilers, architecturally decorated chimneys. Evaluation of their compositional influence in the system of new development of the reorganized territory
	Выявление, реставрация и художественное акцентирование основных фасадных плоскостей главных объектов старой производственной застройки, независимо от характера их нового функционального содержания. Максимальное раскрытие ансамблевых качеств фасадных поверхностей композиционно главных объектов с учетом их визуального восприятия со стороны городской застройки и формирование гармоничных ландшафтных качеств архитектурной застройки со стороны прибрежной зоны водных объектов Identif ication, restoration and artistic accentuation of the main facade planes of the main objects of the old industrial buildings, regardless of the nature of their new functional content. Maximum disclosure of the ensemble qualities of the facade surfaces of the compositionally main objects, taking into account their visual perception from the side of urban development and formation of harmonious landscape qualities of architectural development from the coastal zone of water bodies
	Использование рациональных приемов в организации внутриплощадочного пространства. При строчной системе исторической застройки и наличии внутрицевых дворов — организация атриумных пространств (с надстройкой или боковой пристройкой сооружения атриума). Реконструкция 2–4-этажных протяженных корпусов с их возможной частичной надстройкой. Устройство внутриплощадочных многоуровневых автостоянок, рассчитанных для рабочего персонала и посетителей новых общественных центров. Устройство многоуровневых надземных пешеходных коммуникаций в виде галерей и переходов между корпусами в исторически сохраняемой и новой застройке Use of rational methods in the organization of intra-site space. In the case of a row system of historical buildings and the presence of internal courtyards — structure of atrium spaces (with superstructure or lateral extension of the atrium structure). Reconstruction of 2–4-storey extended buildings with their possible partial superstructure. Arrangement of on-site multi-level car parks designed for working staff and visitors to new public centers. Arrangement of multi-level elevated pedestrian communications in the form of galleries and passages between buildings in historically preserved and new buildings

Принципиальной особенностью предложенно-го решения стало также включение местного при-родного ландшафта, расположенного в границах живописной прибрежной территории комплекса но-вого кампуса, для размещения крупных спортивных объектов и лодочных прогулочных причалов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как показывают результаты исследования, стра-тегия реновации и реконструкции сохранившихся исторических текстильных предприятий, располо-женных на территориях современных развивающихся больших и малых городов, относящихся к объектам

историко-культурного наследия, в каждом случае требуется тщательного учета таких важных факторов, как:

- комплексная оценка степени социальной и общественно-культурной востребованности исторически сохранившихся объектов и их территорий для дальнейшего развития современного города [21];
- анализ архитектурно-градостроительных и пространственно-композиционных условий размещения;
- максимальное сохранение ценных ансамблевых качеств, композиционного и визуального единства исторической производственной застройки в структуре городской территории;
- рациональное использование конкретных архитектурно-типологических особенностей по составу и размещению объектов предприятия для их нового функционального наполнения;
- оценка физического состояния строительных конструкций с учетом проведения возможных реконструктивных мероприятий.

С этой целью в качестве основных практических рекомендаций в табличной форме представлена последовательная методика осуществления этапов реновации и оценки применяемых функциональных и архитектурно-композиционных решений в процессе архитектурного проектирования (табл.).

Таким образом, для правильного гармоничного подхода к процессу современного функционального и планировочного обновления исторического фабричного архитектурного наследия становится актуальной разработка поэтапного научно обоснованного проектного подхода к проведению реновации сохранившихся архитектурных объектов, что обеспечит сохранение и раскрытие их уникальных ансамблевых качеств, а также оптимальную схему взаимосвязи территории реорганизуемого объекта с системой транспортных и пешеходных коммуникаций современной окружающей городской застройки.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бердникова А.С., Быстрова Т.Ю. Особенности архитектуры ткацких фабрик Центральной России. Индустриальное текстильное наследие // Архитектура и архитектурная среда: вопросы исторического и современного развития : мат. Междунар. науч.-практ. конф. 2022. С. 64–70. EDN ULVWGH.
2. Semko O.V., Voskobiynik Ye.P. Analysis of the industrial objects renovation experience // Academic Journal Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering. 2017. Vol. 1. Issue 48. Pp. 226–237. DOI: 10.26906/znp.2017.48.804
3. Разумова П.С. Текстильные предприятия XIX – начала XX веков, как возможный резерв возрождения малых городов Центральной России // Дни студенческой науки : сб. докл. науч.-техн. конф. по итогам науч.-исслед. работ студентов Института строительства и архитектуры НИУ МГСУ. 2020. С. 56–58. EDN ZJBNUF.
4. Истомин Б.С., Малая Е.В. Архитектурно-строительная реновация и реконструкция ткацких фабрик XIX – начала XXI вв. в России // Архитектура и современные информационные технологии. 2019. № 2 (47). С. 171–185. EDN ZIOTYL.
5. Истомин Б.С., Малая Е.В., Переводнова Г.В. Возрождение промышленных предприятий (на примере текстильных фабрик города Орехово-Зуево) // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 7. С. 25–30. EDN ZBTMUR.
6. Хлебникова А.К., Щербакова А.В. Влияние европейской промышленной архитектуры на формирование архитектурных особенностей построек города Орехово-Зуево в период середины XIX – начала XX вв. // ДИСК-2022 : сб. мат. Всерос. науч.-практ. конф. в рамках Всероссийского форума молодых исследователей «Дизайн и искусство — стратегия проектной культуры XXI века». 2022. С. 118–122. EDN IJBZLI.
7. Загорко А.А., Шишин М.Ю., Быков И.А., Раменская Ю.В. Реновация исторических производственных объектов и их интеграция в городскую среду // Вестник АлтГТУ им. И.И. Ползунова. 2018. № 1. С. 23–25. EDN OUEZGF.
8. Stieglitz M., Nefedov V. Refunctionalisation of industrial territories in Saint Petersburg // Proceedings of the Institution of Civil Engineers — Urban Design and Planning. 2016. Vol. 169. Issue 1. Pp. 30–42. DOI: 10.1680/udap.14.00026
9. Lapidus A., Abramov I. Implementing large-scale construction projects through application of the systematic and integrated method // IOP Conference Series : materials Science and Engineering. 2018. Vol. 365. P. 062002. DOI: 10.1088/1757-899x/365/6/062002
10. Nefedov V., Stiglic M. European trends of industrial territories transformation and their manifestation in saint petersburg // World Applied Sciences Journal. 2013. Vol. 23. Issue 13. Pp. 70–73. DOI: 10.5829/idosi.wasj.2013.23.pac.90015
11. Бойко А.А. Преобразование ярославской текстильной мануфактуры в индустриальный арт-кластер // Актуальные проблемы современного строительства : мат. 72-й Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. 2019. С. 60–65. EDN LEZOYG.
12. Переводнова Г.В., Кобозева Е.И. Сохранение исторического наследия в процессе реновации текстильных предприятий и развитие промышленного туризма // Наука, образование и экспериментальное проектирование. Труды МАПХИ : мат. Междунар. науч.-практ. конф. 2018. С. 301–304. EDN YUQOCL.
13. Topchiy D., Yurgaytis A., Babushkin E., Zueva D. Construction supervision during capital construction, reconstruction and re-profiling // MATEC Web of Conferences. 2019. Vol. 265. P. 07022. DOI: 10.1051/mateconf/201926507022

14. Быстрова Т.Ю. Реабилитация промышленных территорий городов: теоретические предпосылки, проектные направления (часть 1) // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2013. № 3. С. 23–25. EDN RDOJTH.

15. Разумова П.С., Финогенов А.И. Реновация исторических текстильных предприятий, как один из механизмов устойчивого развития городов Центральной России // Инновации и инвестиции. 2021. № 5. С. 203–208. EDN ANAAER.

16. Проскушина В.С. Градостроительный анализ текстильных предприятий Ивановской области // Информационная среда вуза (см. в книгах). 2017. № 1 (24). С. 305–307. EDN ZULIGT.

17. Снитко А.В. Вопросы реновации архитектурной среды исторических промышленных предприятий // Промышленное и гражданское строительство. 2008. № 2. С. 19–22. EDN IJPRHD.

18. Цаплева А.М. Реконструкция промышленных комплексов XIX – середины XX века в Ивановской об-

ласти // Огарёвские чтения : мат. Всерос. с междунар. участием науч. конф. 2022. С. 639–647. EDN ZODTWC.

19. Celani A., Ciaramella A., Dettwiler P. Identification of vacant space; a prerequisite for industrial and societal development // CIB World Building Congress 2016. 2016. Vol. 1. Pp. 185–196.

20. Марковец М.А. Формирование молодежных учебных центров на базе реконструкции сохранившихся исторических зданий текстильных предприятий // Дни студенческой науки : сб. докл. науч.-техн. конф. по итогам науч.-исслед. работ студентов Института строительства и архитектуры НИУ МГСУ. 2021. С. 92–94. EDN IAAODA.

21. Малая Е.В. Градостроительные особенности текстильных предприятий малых городов, как вектор развития экономической независимости России // Наука, образование и экспериментальное проектирование в МАРХИ : тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. профессорско-преподавательского состава, молодых ученых и студентов. 2019. С. 446–447. EDN NOVQYR.

Поступила в редакцию 25 мая 2023 г.

Принята в доработанном виде 30 мая 2023 г.

Одобрена для публикации 17 ноября 2023 г.

ОБ АВТОРАХ: Полина Сергеевна Разумова — аспирант кафедры архитектуры Института архитектуры и градостроительства (ИАГ); Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; alpa450@gmail.com;

Александр Иванович Финогенов — кандидат архитектуры, доцент кафедры архитектуры Института архитектуры и градостроительства (ИАГ), научный руководитель; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 5969-0492, Scopus: 57200279286, ORCID: 0000-0003-2835-599X; finogenov45@mail.ru.

Вклад авторов:

Разумова П.С. — сбор материала, написание статьи.

Финогенов А.И. — обработка материала, научное редактирование текста и библиографии.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Berdnikova A.S., Bystrova T.Yu. Features of the architecture of weaving factories in Central Russia. Industrial textile heritage. *Architecture and architectural environment: issues of historical and modern development : proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. 2022; 64-70. EDN ULVWGH. (rus.).

2. Semko O.V. Voskobiynyk Ye.P. Analysis of the industrial objects renovation experience. *Academic Journal Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering*. 2017; 1(48):226-237. DOI: 10.26906/znp.2017.48.804

3. Razumova P.S. Textile enterprises of the 19th – early 20th century as a possible reserve for the revival of small towns in Central Russia. *Days of student science : collection of reports of a scientific and technical conference on the results of research work of students of the Institute of Construction and Architecture of the National Research University MGSU*. 2020; 56-58. EDN ZJBNUF. (rus.).

4. Istomin B., Malaya E. Architectural and construction renovation and reconstruction of weaving mills of the XIX – early XXI century in Russia. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2019; 2(47):171-185. EDN ZIOTYL. (rus.).

5. Istomin B.S., Malaya E.V., Perevodnova G.V. Revival of industrial enterprises (on the example of the textile mills of the city of Orekhovo-Zuyevo). *Industrial and Civil Engineering*. 2017; 7:25-30. EDN ZBTMUR. (rus.).

6. Khlebnikova A.K., Shcherbakova A.V. The influence of European industrial architecture on the formation of architectural features of the buildings of the city of Orekhovo-Zuyevo in the period of the mid-19th – early 20th centuries. *All-Russian Scientific and Practical Conference "DISK-2022" : collection of materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference, within the framework of the All-Russian Forum of Young Researchers "Design*

and Art – a Strategy for Design Culture of the 21st Century”. 2022; 118-122. EDN IJBZLI. (rus.).

7. Zagorko A., Shishin M., Bykov A., Ramenskaya Yu. Renovation of historical production facilities and their integration into the urban environment. *Bulletin of Altai State Technical University Named After I.I. Polzunova*. 2018; 1:23-25. EDN OUEZGF. (rus.).

8. Stieglitz M., Nefedov V. Refunctionalisation of industrial territories in Saint Petersburg. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Urban Design and Planning*. 2016; 169(1):30-42. DOI: 10.1680/udap.14.00026

9. Lapidus A., Abramov I. Implementing large-scale construction projects through application of the systematic and integrated method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018; 365:062002. DOI: 10.1088/1757-899x/365/6/062002

10. Nefedov V., Stiglic M. European Trends of Industrial Territories Transformation and their Manifestation in Saint Petersburg. *World Applied Sciences Journal*. 2013; 23(13):70-73. DOI: 10.5829/idosi.wasj.2013.23.pac.90015

11. Boyko A.A. Transformation of Yaroslavl textile manufacture into industrial art cluster. *Actual problems of modern construction : materials of the 72nd All-Russian Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists*. 2019; 60-65. EDN LEZOYG. (rus.).

12. Perevodnova G.V., Kobozeva E.I. Preservation of historical heritage in the process of renovation of textile enterprises and the development of industrial tourism. *Science, education and experimental design. Proceedings of the Moscow Architectural Institute : materials of the international scientific-practical conference*. 2018; 301-304. EDN YUQOCL. (rus.).

13. Topchiy D., Yurgaytis A., Babushkin E., Zueva D. Construction supervision during capital construction, reconstruction and re-profiling. *MATEC Web of Conferences*. 2019; 265:07022. DOI: 10.1051/matec-conf/201926507022

14. Bystrova T.Y. Rehabilitation of industrial

areas of cities: theoretical background, design trends (part 1). *Akademicheskii Vestnik UralNIiproekt RAASN*. 2013; 3:23-25. EDN RDOJTH. (rus.).

15. Razumova P.S., Finogenov A.I. Renovation of historic textile enterprises as one of the mechanisms for sustainable development of towns in central Russia. *Innovation and Investment*. 2021; 5:203-208. EDN ANAAER. (rus.).

16. Proskushina V.S. Town-planning analysis of textile factory of Ivanovo region. *Information environment of the university (see in books)*. 2017; 1(24):305-307. EDN ZULIGT. (rus.).

17. Snitko A.V. The issues of renovation of the architectural environment of historical industrial enterprises (“Derbenev-Centre” in the city of Ivanovo). *Industrial and Civil Engineering*. 2008; 2:19-22. EDN IJPRHD. (rus.).

18. Tsapleva A.M. Reconstruction of industrial complexes of the 19th – mid-20th centuries in the Ivanovo region. *Ogaryovskie readings : materials of the All-Russian scientific conference*. 2022; 639-647. EDN ZODTWC. (rus.).

19. Celani A., Ciaramella A., Dettwiler P. Identification of vacant space; a prerequisite for industrial and societal development. *CIB World Building Congress 2016*. 2016; 1:185-196.

20. Markovets M.A. Formation of youth training centers on the basis of the reconstruction of the preserved historical buildings of textile enterprises. *Days of student science : collection of reports of a scientific and technical conference on the results of research work of students of the Institute of Construction and Architecture of the National Research University MGSU*. 2021; 92-94. EDN IAAODA. (rus.).

21. Malaya E.V. Urban planning features of textile enterprises in small towns as a vector for the development of Russia’s economic independence. *Science, education and experimental design at Moscow Architectural Institute : abstracts of reports of the international scientific-practical conference of the faculty, young scientists and students*. 2019; 446-447. EDN NOVQYR. (rus.).

Received May 25, 2023.

Adopted in revised form on May 30, 2023.

Approved for publication on November 17, 2023.

BIONOTES: **Polina S. Razumova** — postgraduate student of the Department of Architecture and Urban Planning of the Institute of Construction and Architecture; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; alpa450@gmail.com;

Alexander I. Finogenov — Candidate of Architecture, Associate Professor of the Department of Architecture and Urban Planning of the Institute of Construction and Architecture, scientific adviser; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 5969-0492, Scopus: 57200279286, ORCID: 0000-0003-2835-599X; finogenov45@mail.ru.

Contribution of the authors:

Polina S. Razumova — collecting material, writing an article.

Alexander I. Finogenov — processing of material, scientific editing of text and bibliography.

The authors declare that they have no conflicts of interest.

Развитие архитектурной среды подземных структур общественно-торговых комплексов, реконструкция площади Павелецкого вокзала

Елена Владимировна Михайлова, Екатерина Константиновна Калиниченко,
Маргарита Олеговна Белова

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Актуальность изучения развития подземных многоуровневых структур общественно-торговых комплексов (ОТК) определена необходимостью активного освоения подземного пространства в крупных и крупнейших городах в соответствии со Стратегией пространственного развития России. Формированию на базе VR/AR-технологий иммерсивной среды в комплексах способствовали социально-экономические условия, связанные с реализацией федерального проекта «Цифровые технологии». Активная интеграция элементов ландшафта в структуру центров вызвана потребностью экологической реабилитации городских территорий в соответствии со Стратегией экологической безопасности РФ. Цель исследования — выявление особенностей развития в 2020-х гг. архитектурной среды многоуровневых подземных структур общественно-торговых комплексов в условиях реконструкции центральных районов крупных и крупнейших городов на участках, включающих крупную городскую площадь, на примере подземного многофункционального центра «Павелецкая плаза». Задачей анализа является в современных социально-экономических, градостроительных, экологических условиях крупных и крупнейших городов определить новые тенденции в развитии архитектурной среды ОТК, отвечающих их требованиям.

Материалы и методы. Выполнено изучение литературных источников, научных публикаций, интернет-ресурсов, а также проведены натурные обследования комплексов. Разработаны схематические пространственные модели комплексов на основе выявленных современных тенденций их архитектурно-планировочной организации.

Результаты. Выявлена необходимость доработки существующей классификации ОТК на участках, включающих крупную городскую площадь.

Выводы. Омниканальность поведения покупателей требует развития архитектурной среды центров на базе расширения объема и состава общественной функции, выработки приемов создания иммерсивной среды, а также устройства ландшафта на надплатформенных уровнях.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: многоуровневый общественно-торговый комплекс, подземное пространство, архитектурная среда, реконструкция, крупные и крупнейшие города, городская среда, архитектурная среда комплексов

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Михайлова Е.В., Калиниченко Е.К., Белова М.О. Развитие архитектурной среды подземных структур общественно-торговых комплексов, реконструкция площади Павелецкого вокзала // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19. Вып. 1. С. 36–44. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.1.36-44

Автор, ответственный за переписку: Елена Владимировна Михайлова, MikhaylovaEV@inbox.ru.

Development of architectural environment of underground structures of public and trading complexes on the example of reconstruction of Paveletsky station square

Elena V. Mikhaylova, Ekaterina K. Kalinichenko, Margarita O. Belova

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

ABSTRACT

Introduction. The relevance of studying the development of underground multi-level structures of public and trade complexes (PTC) is determined by the need for active development of underground space in large and major cities in accordance with the Strategy of Spatial Development of Russia until 2025. The formation of immersive environment in the complexes based on VR/AR technologies was facilitated by socio-economic conditions associated with the implementation of the federal project "Digital Technologies" until 2024. Active integration of landscape elements into the structure of the centres is caused by the need for environmental rehabilitation of urban areas in accordance with the Environmental Safety Strategy of the Russian Federation until 2025. The aim of the research is to identify the peculiarities of the development in the 2020s of the architectural environment of multi-level underground structures of public and trade complexes in the context of reconstruction of the central districts of large and major cities in

areas that include a large urban square, using the example of the “Paveetskaya Plaza” underground multifunctional centre. The task of the analysis is to determine new trends in the development of the architectural environment of the PTC in the modern socio-economic, urban planning, environmental conditions of large and major cities that meet their requirements.

Materials and methods. The study of literary sources, scientific publications, Internet resources, as well as field surveys of the complexes. Development of schematic spatial models of the complexes based on the identified modern trends of their architectural and planning organization.

Results. The necessity to refine the existing PTC classification in the sites that include a large urban area has been identified.

Conclusions. The omnichannel behavior of buyers requires development of architectural environment of the centres based on the expansion of volume and composition of public function, development of techniques of immersive environment creation, as well as the formation of a landscape at above-platform levels.

KEYWORDS: multi-level public and trade complex, underground space, architectural environment, reconstruction, large and major cities, urban environment, architectural environment of the complexes

FOR CITATION: Mikhaylova E.V., Kalinichenko E.K., Belova M.O. Development of architectural environment of underground structures of public and trading complexes on the example of reconstruction of Paveletsky station square. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2024; 19(1):36-44. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.1.36-44 (rus.).

Corresponding author: Elena V. Mikhaylova, MikhaylovaEV@inbox.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования формирования архитектурной среды подземных многоуровневых структур общественно-торговых комплексов (ОТК) связана с необходимостью активного освоения подземного пространства в крупных и крупнейших городах в соответствии со Стратегией пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года¹. Многоярусное развитие городов за счет использования подземного пространства вызвано интенсивным ростом численности населения и нехваткой территорий под строительство, ухудшением экологической ситуации и необходимостью сбережения энергетических ресурсов, потребностью интеграции в урбанизированную среду «зеленых» урболандшафтов (УЛ) [1–3].

Значительное влияние на проектирование, строительство и эксплуатацию ОТК оказывают экономические, социальные, градостроительные и экологические факторы. В условиях реализации федерального проекта «Цифровые технологии» с формированием е-коммерции в крупных и крупнейших городах остро возникла потребность в изучении новых тенденций в формировании архитектурной среды комплексов² [4]. Массовый уход покупателей в сектор е-коммерции требует сокращения торговых площадей в архитектурно-планировочных решениях центров в категории потребительских товаров наряду с поиском других «магнитов притяжения» [5, 6].

Ярко выражено несоответствие существующей городской общественно-торговой инфраструктуры изменившимся потребностям омниканальных

посетителей ОТК. Архитектурная среда комплексов становится иммерсивной на основе внедрения AR-навигации, AR-мероприятий и проектов AR-геймификации [7]. Избыточные затраты времени на покупки горожанами в центрах требуют совершенствования в крупных и крупнейших городах системы транспортного обслуживания. Выявление новых приемов формирования центров — необходимое условие для создания эффективно функционирующих ОТК, которые будут соответствовать потребностям и ожиданиям горожан [8–12].

Актуальность интенсификации использования территории крупных и крупнейших городов в соответствии с Градостроительным кодексом Российской Федерации от 29.12.2004 № 190-ФЗ в условиях реконструкции исторической застройки с освоением неудобных территорий требует совершенствования архитектурных многоуровневых решений комплексов [13]. Реконструкция в центральных и срединных зонах крупных и крупнейших городов определяет потребность в сохранении их исторического облика за счет введения ограничений в пространственном развитии надплатформенного уровня центров. Вос требованным направлением развития в градостроительстве является формирование общественных городских пространств. Для их создания используются не только традиционные (улицы, площади, парки), но и альтернативные элементы (террасы, малые архитектурные формы, зоны отдыха) с устройством на надплатформенном уровне ОТК [14].

Экологический кризис в крупных и крупнейших городах требует активной реабилитации городских территорий в соответствии со Стратегией экологической безопасности Российской Федерации до 2025 года³. Активная интеграция ландшафтных

¹ Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года : Распоряжение Правительства Российской Федерации от 13.02.2019 № 207-р. URL: <http://static.government.ru/media/files/UVAIqUtT08o60RktoOXI22JjAe7irNxc.pdf>

² Цифровые технологии. URL: <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/878/>

³ О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года : Указ Президента Российской Федерации от 19.04.2017 № 176. URL: <http://government.ru/docs/all/111285/>

элементов в городскую среду обеспечит улучшение ее экологического состояния за счет внедрения УЛ в многоуровневые структуры комплексов [15–17]. Комплексный анализ стратегии озеленения городских УЛ позволит выработать наиболее рациональное направление развития плана озеленения для каждого центра в конкретной городской среде [18]. Необходимость разработки концепции благоустройства для создания общественных «зеленых» городских пространств в исторической застройке крупных и крупнейших городов требует развития на надплатформенных уровнях в ОТК благоустроенных «зеленых» урболандшафтов.

Таким образом, выявлена актуальность исследования архитектурной среды современных комплексов с дальнейшей разработкой эффективных архитектурно-планировочных моделей, которые станут основой для рационального проектирования центров в условиях глобальной цифровизации мировой экономики.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В рамках исследовательской работы использована информационная база, включающая изучение открытых источников информации, таких как: нормативно-правовая база, статьи, научные публикации, интернет-ресурсы. Для получения более полной картины проведены натурные обследования комплексов, что позволило выявить современные принципы их архитектурно-планировочной организации. На базе полученных данных разработаны схематические пространственные модели комплексов, которые дали возможность более точно определить основные тенденции их современного развития. Проведенные работы были выполнены в рамках повседневной практики и имеют практическую значимость для архитектурного проектирования и строительства ОТК в крупных и крупнейших городах.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Выявлены основные особенности развития в 2020-х гг. архитектурной среды ОТК на основе сравнительного анализа между сформированными в 2010-е гг. классификациями, приемами и принци-

пами проектирования, строительства и эксплуатации комплексов в крупных и крупнейших городах с современными методами на примере подземного многофункционального центра «Павелецкая плаза»^{4,5,6} [19].

1. В практике прошлых лет градостроительное положение «Павелецкой плазы» соответствует специализированному приему размещения ОТК в центральных районах крупных и крупнейших городов на участках, включающих крупную городскую площадь. Данные участки характеризовались как активным развитием транспортной зоны городского значения на территории самих комплексов, так и в меньшей степени «островным» положением участков центров. В результате установлена необходимость доработки классификации с разделением участков ОТК, включающих крупную городскую площадь, на такие, как участки, включающие городскую транспортную площадь, а также «островные» участки, включающие городскую площадь (рис. 1). Таким образом, в настоящее время активное развитие получило размещение комплексов на «островных» участках, включающих городскую площадь.

2. Объемно-планировочный прием организации многоярусной структуры «Павелецкой плазы» относится к интегрированному приему многоуровневого взаимодействия ОТК с окружающей застройкой в виде протяженного подземного объема. Определена необходимость доработки данной графической схемы, которая не отражает в полной мере тенденции как прошлых лет, так и современности, связанной с освоением надплатформенного уровня комплексов одноуровневыми объемами-павильонами (рис. 2). Следовательно, характерной особенностью формирования центров в виде протяженного подземного объема является организация на надплатформенном уровне одноуровневых объемов.

3. Функционально-планировочное зонирование «Павелецкой плазы» направлено на увеличение зоны зрелищных и культурно-развлекательных учреждений для привлечения омниканальных посетителей

⁴ Павелецкая плаза. URL: <https://pavplaza.ru/about/center/>
⁵ Paveletskaya plaza. URL: <https://www.5plusdesign.com/architecture/paveletskaya-plaza>
⁶ Apex project bureau. URL: <https://apex-project.ru/projects/paveletskiy>



Рис. 1. Специализированные приемы взаимодействия центров с транспортом

Fig. 1. Specialized techniques of interaction between centres and transport

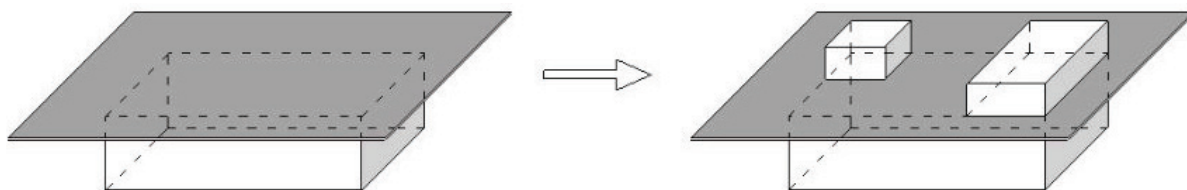


Рис. 2. Интегрированный прием многоуровневого формирования ОТК протяженным подземным объемом

Fig. 2. An integrated technique of multi-level formation of PTC by an extended underground volume

за счет активного развития надплатформенного уровня комплекса, а также сокращения торговых площадей центра (рис. 3). Функциональное зонирование ОТК в условиях е-коммерции впервые имеет обратную тенденцию, ведущую к сокращению торговой зоны комплексов почти на треть, наряду с заменой ее на функцию зрелищных и культурно-развлекательных учреждений. Наблюдается расширение функционального состава ОТК посредством включения учреждений быта. Соответственно, определена тенденция увеличения зрелищной и культурно-развлекательной функции комплексов за счет использования надплатформенного уровня, а также сокращения их торговой зоны. Учреждения быта стали включать в центры для обслуживания как мобильных посетителей, так и местных жителей.

4. Функциональное решение торгово-пешеходной зоны «Павелецкой плазы» соответствует блочно-секционной планировке, что характеризует возврат к достаточно редко применяемому в прошлые годы планировочному решению комплексов. Современное развитие данного приема предполагает укрупнение «островов» рядовых магазинов центров до полифункциональных «якорей тяготения», а также возврат к устройству в крупных многоярусных торговых предприятиях дублирующих внутренних вертикальных коммуникаций. Наряду с этим изме-

нения коснулись размещения в ОТК разгрузочно-складской зоны, теперь она организуется на нижнем подземном уровне, а не только на верхнем подземном ярусе. При этом транспортный тоннель в комплексах характеризуется как тупиковой, так и сквозной планировками. Таким образом, актуальность получила блочно-секционная планировка центров с полифункциональными «островами» рядовых магазинов, а также с дублирующими внутренними вертикальными торгово-пешеходными коммуникациями. Ведется активное освоение подземного пространства ярусов ОТК путем размещения разгрузочно-складской зоны на нижнем подземном уровне, а также усложнения пространственного решения транспортного тоннеля в виде сквозной планировки.

5. Внешние пешеходно-транспортные связи «Павелецкой плазы» с окружающей застройкой взаимодействуют по принципу совмещенных периферийных пешеходных потоков. Выявлена необходимость дополнения приемов пешеходно-транспортного зонирования комплексов схемой с совмещенными периферийными пешеходными потоками на «островных» участках, включающих городскую площадь (рис. 4). Внутренние пешеходно-транспортные связи центра характеризуются изолированностью от системы метрополитена, а также железнодорожного транспорта Павелецкого

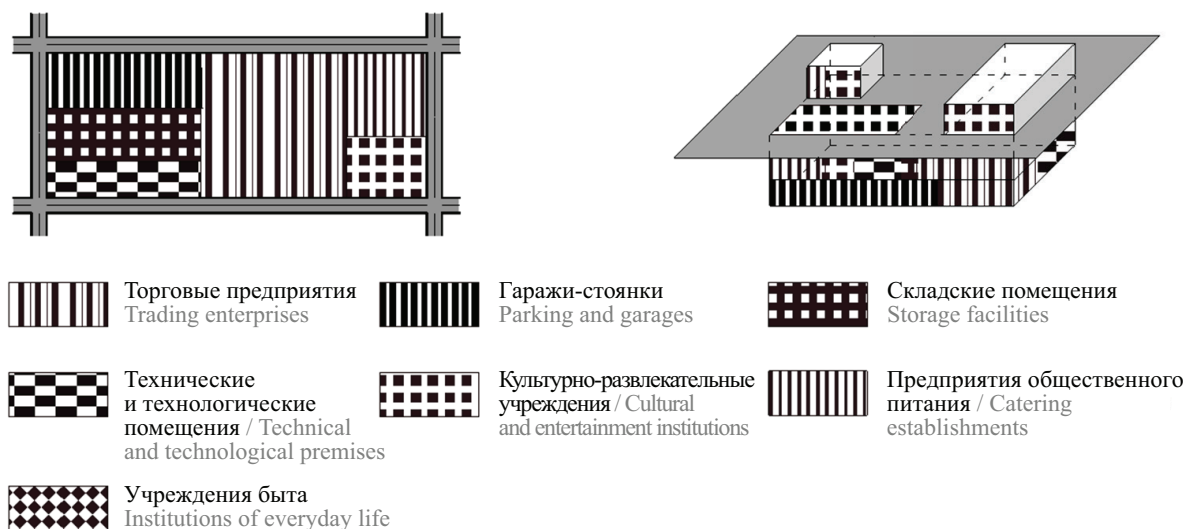


Рис. 3. Схема горизонтального функционального зонирования ОТК и прием пространственного зонирования центров

Fig. 3. Scheme of horizontal functional zoning of PTC and the technique of spatial zoning of centres

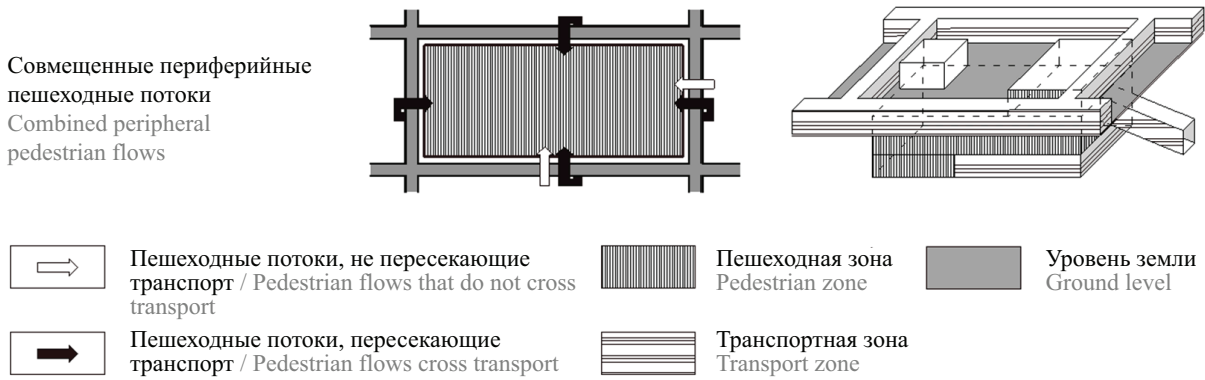


Рис. 4. Схема пешеходно-транспортных потоков комплексов и прием пешеходно-транспортного зонирования центров
Fig. 4. Scheme of pedestrian and transport flows of complexes and reception of pedestrian and traffic zoning of centres

вокзала. Вместе с тем в практике прошлых лет велась активная интеграция ОТК с метрополитеном, а с вокзалами даже соседство негативно сказывалось на статусе комплекса. Изоляция «Павелецкой плазы» от городской транспортной инфраструктуры позволила свести к минимуму негативные влияния от соседства с железнодорожным вокзалом. Следовательно, эффективное развитие получил принцип совмещенных периферийных пешеходных потоков в центрах. Рационально минимизированы недостатки размещения ОТК в непосредственной близости с крупным ж/д вокзалом путем ограничения внешних транспортных связей.

6. Композиционный прием архитектурно-планировочной организации «Павелецкой плазы» относится к протяженной композиции. Вместе с тем анализ выявил необходимость расширения классификации архитектурно-композиционных приемов организации протяженных ОТК. Следует включить дополнительно прием в виде подземных пешеходных улиц, сходящихся на площади (рис. 5). Соответственно, на современном этапе активное формирование в протяженных комплексах получила рациональная схема в виде подземных пешеходных улиц, сходящихся на площади.

7. Архитектурно-художественные решения внутреннего пространства «Павелецкой плазы» направлены на социокультурную адаптацию омниканальных посетителей к использованию VR/AR-контента в ОТК крупных и крупнейших городов [20–22]. Иммерсивная среда комплекса создает устойчи-

вый коммуникационный канал с посетителями на основе внедрения AR-навигации: интернет-сайт, интерактивные карты, цифровые вывески [23]. Таким образом, приоритетным направлением архитектурно-художественного развития внутреннего пространства центров является создание эффективной иммерсивной архитектурной среды на базе VR/AR-контента.

8. Архитектурно-пространственное решение «Павелецкой плазы» характеризуется активным развитием урболандшафта на надплатформенном уровне ОТК. В сложной экологической ситуации при реконструкции в крупных и крупнейших городах рационально отводить под озеленение надплатформенный ярус комплексов. Развитая «зеленая» городская зона отдыха на надплатформенном уровне центров формирует востребованное общественное пространство, ориентированное как на местных жителей, так и на мобильных горожан и туристов [24]. Следовательно, в условиях реконструкции крупных и крупнейших городов широкое распространение получило формирование на надплатформенных ярусах ОТК общественных пространств с «зелеными» УЛ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

На основании проведенного исследования многоуровневых структур комплексов с использованием подземного пространства в условиях реконструкции крупных и крупнейших городов выявлено, что активное развитие получил прием их размещения на «островных» участках, включающих городскую

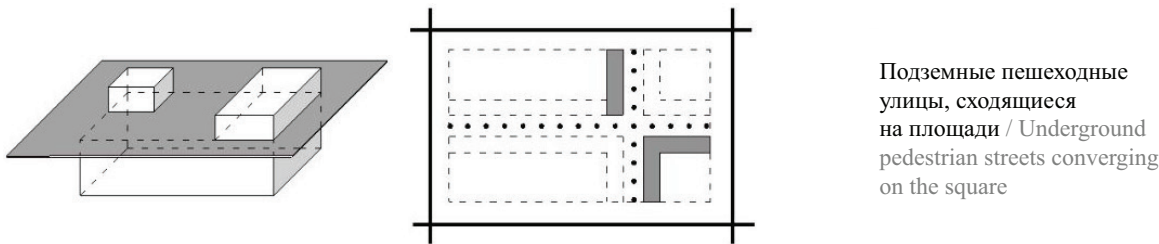


Рис. 5. Архитектурно-композиционный прием организации протяженных центров
Fig. 5. Architectural and compositional technique of organizing extended centres

площадь. Уточнен принцип формирования центров протяженного подземного объема с одноярусными объемами на надплатформенном уровне. Омниканальность поведения покупателей задала тенденцию к расширению зрелищной и культурно-развлекательной функции ОТК за счет использования надплатформенного яруса, а также сокращения торговой зоны комплексов. Учреждения быта стали неотъемлемой составляющей центров. Стала вновь востребованной блочно-секционная планировка ОТК. Наряду с этим в комплексах развитие получили полифункциональные «острова» рядовых магазинов, а также дублирующие внутренние вертикальные торговые пешеходные связи. Подземные уровни центров развиваются за счет размещения разгрузочно-складской

зоны на нижнем подземном ярусе, транспортные тоннели развиваются до сквозных решений. Совмещение периферийных пешеходных потоков наряду с ограничением внешних транспортных связей позволило снизить недостатки размещения ОТК в непосредственной близости от ж/д вокзалов. Активное внедрение в протяженных комплексах получила рациональная схема в виде подземных пешеходных улиц, сходящихся на площади. Ведущим направлением архитектурно-художественного развития внутреннего пространства центров является создание иммерсивной архитектурной среды на базе VR/AR-контента. Общественные городские пространства интегрируются в надплатформенные уровни ОТК с «зелеными» урболандшафтами.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Калиниченко Е.К., Курочкина В.А., Белова М.О. Качество городской среды и воздействие города на окружающую среду // *Геоэкология: теория и практика* : сб. науч. тр. по мат. Всерос. студ. конф. с междунар. участием. 2022. С. 411–419.
2. Левченко А.Н., Дмитриев А.Н., Корчак А.В., Картозия Б.А., Федунец Б.И. О перспективах разработки системы нормативных документов по освоению городского подземного пространства // *Метро и тоннели*. 2007. № 4. С. 4–6. EDN ULVUHP.
3. Demers C. Over & underground spaces & networks integrations a case study: The international district of Montreal // *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 165. Pp. 726–729. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.11.770
4. Белова М.О., Калиниченко Е.К. Формирование комфортной городской среды в г. Москве: степень удовлетворенности горожан // *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. 2023. С. 581–584.
5. Михайлова Е.В. Влияние цифровизации экономики на социально-экономические аспекты развития общественно-торговых центров с многоуровневыми подземными структурам в крупных и крупнейших городах // *Инновации и инвестиции*. 2022. № 4. С. 120–124.
6. Chen Y., Chen Z., Guo D., Zhao Z., Lin T., Zhang C. Underground space use of urban built-up areas in the central city of Nanjing: Insight based on a dynamic population distribution // *Underground Space*. 2022. Vol. 7. Issue 5. Pp. 748–766. DOI: 10.1016/j.undsp.2021.12.006
7. Михайлова Е.В. Перспективы внедрения VR/AR-технологий в архитектурную среду общественно-торговых комплексов с подземными ярусами в крупных и крупнейших городах в условиях активного развития иммерсионных пространств // *Инновации и инвестиции*. 2022. № 7. С. 94–97.
8. Li H.-Q., Parriaux A., Thalmann P. The way to plan a sustainable “deep city”: The economic model and strategic framework // *Proceedings of the 13th World Conference of ACUUS: Advances in Underground Space Development*, ACUUS. 2012. DOI: 10.3850/978-981-07-3757-3RP-021-P074
9. Belyaev V. Underground development as part of the strategy for sustainable spatial development of the city of Moscow // *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 165. Pp. 277–281. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.11.701
10. Labbé M. Architecture of underground spaces: From isolated innovations to connected urbanism // *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2016. Vol. 55. Pp. 153–175. DOI: 10.1016/j.tust.2016.01.004
11. Xia H., Lin C., Liu X., Liu Z. Urban underground space capacity demand forecasting based on sustainable concept : a review // *Energy and Buildings*. 2022. Vol. 255. P. 111656. DOI: 10.1016/j.enbuild.2021.111656
12. Han G., Leng J. Urban underground space planning based on FPGA and virtual reality system // *Microprocessors and Microsystems*. 2021. Vol. 80. P. 103601. DOI: 10.1016/j.micpro.2020.103601
13. Курочкина В.А., Калиниченко Е.К., Белова М.О. Малые архитектурные формы в структуре открытых общественных пространств города // *Вестник евразийской науки*. 2021. Т. 13. № 5. С. 23. DOI: 10.15862/28NZVN521. EDN CZVMUM.
14. Kurochkina V.A., Klimov V.A., Belova M.O., Kalinichenko E.K. Role of small architectural structures in the organization of urban open public // *European Proceedings of Life Sciences*. 2022. DOI: 10.15405/epl.22011.34
15. Калиниченко Е.К., Курочкина В.А., Белова М.О. Основные принципы и критерии формирования городских общественных пространств: отече-

ственный и зарубежный опыт // геоэкология: теория и практика : сб. науч. тр. по мат. Всерос. студ. конф. с междунар. участием. 2021. С. 141–146.

16. Dong Y.-H., Peng F.-L., Qiao Y.-K., Zhang J.-B., Wu X.-L. Measuring the monetary value of environmental externalities derived from urban underground facilities: Towards a better understanding of sustainable underground spaces // *Energy and Buildings*. 2021. DOI: 10.1016/j.enbuild.2021.111313

17. Zhang C., Zhao Z., Guo D., Gong D., Chen Y. Optimization of spatial layouts for deep underground infrastructure in central business districts based on a multi-agent system model // *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2023. Vol. 135. P. 105046. DOI: 10.1016/j.tust.2023.105046

18. Чумаченко С.Г. Совершенствование алгоритма стратегического планирования озеленения урболандшафта крупных городов // *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*. 2011. Т. 7. № 100. С. 64–68. EDN NCSUGZ.

19. Михайлова Е.В. Архитектурная среда общественно-торговых комплексов с многоуровневыми подземными структурами : дис. ... канд. арх. М., 2012. 207 с. EDN OPVDSH.

20. Власенко Л.В., Белова М.О., Калиниченко Е.К. Формирование общественного пространства

как возможность эффективного развития личности // *Наука и образование: актуальные исследования и разработки* : мат. V Всерос. науч.-практ. конф. 2022. С. 129–133.

21. Wang X., Shen L., Shi S. Evaluation of underground space perception: A user-perspective investigation // *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2023. Vol. 131. P. 104822. DOI: 10.1016/j.tust.2022.104822

22. Dong L., He Y., Qi Q., Wang W. Optimization of daylight in atrium in underground commercial spaces: A case study in Chongqing, China // *Energy and Buildings*. 2022. Vol. 256. P. 111739. DOI: 10.1016/j.enbuild.2021.111739

23. Yuan H., He Y., Wu Y. A comparative study on urban underground space planning system between China and Japan // *Sustainable Cities and Society*. 2019. Vol. 48. P. 101541. DOI: 10.1016/j.scs.2019.101541

24. Белова М.О., Калиниченко Е.К. Организация рекреационных пространств в г. Москве (на примере национального парка «Лосиный остров») // *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. 74–77. EDN MKHMPE.

Поступила в редакцию 15 июня 2023 г.

Принята в доработанном виде 17 июля 2023 г.

Одобрена для публикации 27 ноября 2023 г.

ОБ АВТОРАХ: Елена Владимировна Михайлова — кандидат архитектуры, доцент кафедры основ архитектуры и художественных коммуникаций; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; MikhaylovaEV@inbox.ru;

Екатерина Константиновна Калиниченко — студентка; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; Sokratma@mail.ru;

Маргарита Олеговна Белова — студентка; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; m.4rgo@yandex.ru.

Вклад авторов:

Михайлова Е.В. — научное руководство, концепция исследования, написание исходного текста, итоговые выводы.

Калиниченко Е.К. — доработка текста, составление схем и рисунков, итоговые выводы.

Белова М.О. — доработка текста, подбор литературы, итоговые выводы.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Kalinichenko E.K., Kurochkina V.A., Belova M.O. The quality of the urban environment and the impact of the city on the environment. *Geoecology: theory and practice : a collection of scientific papers based on the materials of the All-Russian student con-*

ference with international participation. 2022; 411-419. (rus.).

2. Levchenko A.N., Dmitriev A.N., Korchak A.V., Kartoziya B.A., Fedunets B.I. On the prospects for the development of a system of regulatory documents

for the development of urban underground space. *Metro and Tunnels*. 2007; 4:4-6. EDN ULVUHP. (rus.).

3. Demers C. Over & underground spaces & networks integrations a case study: the international district of Montreal. *Procedia Engineering*. 2016; 165:726-729. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.11.770

4. Belova M.O., Kalinichenko E.K. Formation of a comfortable urban environment in Moscow: the degree of satisfaction of citizens. *Student Science Days : a collection of reports of a scientific and technical conference on the results of research work of students of the Institute of Economics, Management and Communications in the field of construction and real estate of the National Research University MGSU*. 2023; 581-584. (rus.).

5. Mikhaylova E.V. The impact of digitalization of the economy on the socio-economic aspects of the development of public and shopping centers with multi-level underground structures in large and major cities. *Innovations and Investments*. 2022; 4:120-124. (rus.).

6. Chen Y., Chen Z., Guo D., Zhao Z., Lin T., Zhang C. Underground space use of urban built-up areas in the central city of Nanjing: Insight based on a dynamic population distribution. *Underground Space*. 2022; 7(5):748-766. DOI: 10.1016/j.undsp.2021.12.006

7. Mikhaylova E.V. Prospects for the introduction of VR/AR technologies in the architectural environment of public and shopping complexes with underground tiers in large and largest cities in the context of the active development of immersion spaces. *Innovations and Investments*. 2022; 7:94-97. (rus.).

8. Li H.-Q., Parriaux A., Thalmann P. The way to plan a sustainable “deep city”: The economic model and strategic framework. *Proceedings of the 13th World Conference of ACUUS: Advances in Underground Space Development, ACUUS*. 2012. DOI: 10.3850/978-981-07-3757-3RP-021-P074

9. Belyaev V. Underground development as part of the strategy for sustainable spatial development of the city of Moscow. *Procedia Engineering*. 2016; 165:277-281. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.11.701

10. Labbé M. Architecture of underground spaces: From isolated innovations to connected urbanism. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2016; 55:153-175. DOI: 10.1016/j.tust.2016.01.004

11. Xia H., Lin C., Liu X., Liu Z. Urban underground space capacity demand forecasting based on sustainable concept : a review. *Energy and Buildings*. 2022; 255:111656. DOI: 10.1016/j.enbuild.2021.111656

12. Han G., Leng J. Urban underground space planning based on FPGA and virtual reality system. *Microprocessors and Microsystems*. 2021; 80:103601. DOI: 10.1016/j.micpro.2020.103601

13. Kurochkina V.A., Kalinichenko E.K., Belova M.O. Small architectural forms in open public spaces of the city. *The Eurasian Scientific Journal*. 2021; 13(5):23. DOI: 10.15862/28NZVN521. EDN CZVMUM. (rus.).

14. Kurochkina V.A., Klimov V.A., Belova M.O., Kalinichenko E.K. Role of small architectural structures in the organization of urban open public. *European Proceedings of Life Sciences*. 2022. DOI: 10.15405/epl.22011.34

15. Kalinichenko E.K., Kurochkina V.A., Belova M.O. Basic principles and criteria for the formation of urban public spaces: domestic and foreign experience. *Geocology: theory and practice : a collection of scientific papers based on the materials of the All-Russian student conference with international participation*. 2021; 141-146. (rus.).

16. Dong Y.-H., Peng F.-L., Qiao Y.-K., Zhang J.-B., Wu X.-L. Measuring the monetary value of environmental externalities derived from urban underground facilities: Towards a better understanding of sustainable underground spaces. *Energy and Buildings*. 2021. DOI: 10.1016/j.enbuild.2021.111313

17. Zhang C., Zhao Z., Guo D., Gong D., Chen Y. Optimization of spatial layouts for deep underground infrastructure in central business districts based on a multi-agent system model. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2023; 135:105046. DOI: 10.1016/j.tust.2023.105046

18. Chumachenko S.G. Improving the algorithm for strategic planning of urban landscape gardening in large cities. *National Interests: Priorities and Security*. 2011; 7(100):64-68. EDN NCSUGZ. (rus.).

19. Mikhaylova E.V. *The architectural environment of public and shopping complexes with multi-level underground structures*. Moscow, 2012; 207. EDN OPVDSH. (rus.).

20. Vlasenko L.V., Belova M.O., Kalinichenko E.K. Formation of public space as an opportunity for effective personal development. *Science and education: current research and development : materials of the V All-Russian scientific and practical conference*. 2022; 129-133. (rus.).

21. Wang X., Shen L., Shi S. Evaluation of underground space perception: A user-perspective investigation. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2023; 131:104822. DOI: 10.1016/j.tust.2022.104822

22. Dong L., He Y., Qi Q., Wang W. Optimization of daylight in atrium in underground commercial spaces: A case study in Chongqing, China. *Energy and Buildings*. 2022; 256:111739. DOI: 10.1016/j.enbuild.2021.111739

23. Yuan H., He Y., Wu Y. A comparative study on urban underground space planning system between China and Japan. *Sustainable Cities and Society*. 2019; 48:101541. DOI: 10.1016/j.scs.2019.101541

24. Belova M.O., Kalinichenko E.K. Organization of recreational spaces in Moscow (using the example of the national park “Losiny Ostrov”). *Student Science Days : a collection of reports of a scientific and technical conference on the results of research work of students of the Institute of Economics, Management and Communications in the field of construction and real estate of the National Research University MGSU*. 2022; 74-77. EDN MKHMPE. (rus.).

Received June 15, 2023.

Adopted in revised form on July 17, 2023.

Approved for publication on November 27, 2023.

B I O N O T E S: **Elena V. Mikhaylova** — Candidate of Architecture, Associate Professor of the Department of Fundamentals of Architecture and Artistic Communications; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; MikhaylovaEV@inbox.ru;

Ekaterina K. Kalinichenko — student; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; Sokratma@mail.ru;

Margarita O. Belova — student; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; m.4rgo@yandex.ru.

Contribution of the authors:

Elena V. Mikhaylova — scientific guidance, research concept, writing the original text, final conclusions.

Ekaterina K. Kalinichenko — revision of the text, drawing up diagrams and drawings, final conclusions.

Margarita O. Belova — revision of the text, selection of literature, final conclusions.

The authors declare no conflict of interest.

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 7.036

DOI: 10.22227/1997-0935.2024.1.45-53

Стрит-арт в пространстве городской среды Рязани

Светлана Станиславовна Правдолюбова¹, Валерия Александровна Егорова¹,
Анастасия Олеговна Зубкова², Алиса Дмитриевна Сидорова³

¹ Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета; г. Рязань, Россия;

² Проектный институт «Ника» (ПИ «Ника»); г. Рязань, Россия;

³ Проектреставрация; г. Рязань, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Исследуется воздействие уличного искусства на состояние пространства современного города. Объект исследования — современная городская среда, рассматриваемая в контексте изменяющегося восприятия уличного искусства городским населением. Анализируются аспекты формирования благоприятной городской среды с точки зрения пребывания в ней городского жителя.

Материалы и методы. Применили аналитический обзор материалов, отражающих взаимодействие искусства и зрителя в общем, и уличной субкультуры и городского жителя, в частности. В центре внимания — концепция функционала изменяющейся во времени городской среды и ее восприятия человеком. В основу методики положен анализ городского пространства г. Рязани через призму восприятия его городским населением. В эмпирическую базу вошли материалы, включающие статистическое исследование мнения целевой аудитории преподавателей, сотрудников и студентов Рязанского института (филиала) Московского политехнического университета по поводу существования социального явления стрит-арт, его динамики и влияния на общественное мнение, а также интервью авторов, отражающие взгляд художника Александра Синицина на состояние стрит-арта в Рязани и участие авторов в качестве художников в социальном проекте «Город в красках», проходившем летом 2022 г. Объектом творчества послужило бетонное ограждение железнодорожных путей на ул. Московская г. Рязани.

Результаты. Выявлены основные факторы, влияющие на восприятие населением уличного искусства, проведен анализ данных статистического исследования состояния общественного сознания, отражающий эстетические взгляды, социальную активность, вовлеченность в процессы преобразования городской среды, динамику восприятия визуального ряда, содержащегося в объектах стрит-арта. Определен средний уровень информированности жителей о деятельности уличных художников и разных произведениях уличного искусства.

Выводы. Стрит-арт — новое направление, которое претерпевает трансформацию, адаптируясь к новым тенденциям современного устройства общества и сознания людей. Современная субкультура стрит-арта будет востребована на территории урбанистического пространства благодаря своей информационной, пропагандистской и эстетической составляющей.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: мегаполис, информационная среда, стрит-арт, уличное искусство, художник, граффити, мурал, городское пространство, субкультура

Благодарности. Авторы выражают благодарность редакционной коллегии, рецензентам, сотрудникам редакции за сотрудничество, внимание к данной работе и время, потраченное на изучение материалов.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Правдолюбова С.С., Егорова В.А., Зубкова А.О., Сидорова А.Д. Стрит-арт в пространстве городской среды Рязани // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19. Вып. 1. С. 45–53. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.1.45-53

Автор, ответственный за переписку: Валерия Александровна Егорова, EgorovaLera97@yandex.ru.

Street art in the space of urban environment of Ryazan

Svetlana S. Pravdolubova¹, Valeria A. Egorova¹,
Anastasia O. Zubkova², Alisa D. Sidorova³

¹ Ryazan Institute (branch) of the Moscow Polytechnic University; Ryazan, Russian Federation;

² Design Institute “Nika”; Ryazan, Russian Federation;

³ Proektrestavratsiya; Ryazan, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The impact of street art on the state of space of the modern city is investigated. The object of the research is the modern urban environment considered in the context of the changing perception of street art by the urban population. The aspects of forming a favourable urban environment from the point of view of urban dweller's stay in it are considered.

Materials and methods. The methodological basis of the research is an analytical review of materials reflecting the interaction between art and the viewer in general, and street subculture and the urban dweller in particular. The focus of this paper is the concept of the functionality of the time-changing urban environment and its human perception. The research methodology is based on the analysis of the urban space of Ryazan through the prism of its perception by the urban population. The empirical

base contains materials, including a statistical study of the opinion of the target audience of teachers, staff and students of the Ryazan Institute (branch) of the Moscow Polytechnic University regarding the existence of the social phenomenon of street art, its dynamics and impact on public opinion, an interview reflecting the view of the artist Alexander Sinitsyn on the state of the Street art movement in Ryazan and the authors' own participation as artists in the social project "The City in Colours", which took place in the summer of 2022. The concrete fence of the railway tracks in Moskovskaya street was the object of creativity.

Results. The main factors influencing the perception of street art by the population are revealed, the data of statistical research of the state of public consciousness is carried out, reflecting aesthetic views, social activity, involvement in the processes of transformation of the urban environment, the dynamics of perception of the visual range contained in street art objects. The authors of the paper determined the average level of awareness of residents about the activities of street artists and various works of street art.

Conclusions. Street art is a new direction that is undergoing transformation processes, adapting to new trends in the modern structure of society and people's consciousness. Modern subculture of street art will be in demand on the territory of urban space, thanks to its informational, propaganda and aesthetic component.

KEYWORDS: megapolis, information environment, street art, artist, graffiti, mural, urban space, subculture

Acknowledgments. The authors of the article express their sincere gratitude to the editorial board, reviewers, editorial staff for their cooperation, attention to this work and the time spent on studying the materials.

FOR CITATION: Pravdolubova S.S., Egorova V.A., Zubkova A.O., Sidorova A.D. Street art in the space of urban environment of Ryazan. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2024; 19(1):45-53. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.1.45-53 (rus.).

Corresponding author: Valeria A. Egorova, EgorovaLera97@yandex.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Пространство современного мегаполиса — это статус, визитная карточка города. Функционал городского пространства простирается от коммуникативной и транзитной до эстетической составляющей [1]. В формировании городской среды задействованы функции осуществления деятельности и удовлетворения потребностей городского жителя. В самом общем виде это комплекс условий, созданных человеком и природой, определяющих уровень и качество жизни. Ученые различают несколько факторов формирования городской среды: антропогенные (созданные человеком), биотические (созданные живой природой), абиотические (созданные неживой природой) [2]. Создание комфортного, привлекательного для человека городского пространства предполагает системный подход. Гармоничная и эстетически благоприятная среда должна соответствовать критериям безопасности и удобства [3, 4]. В таком случае человек захочет возвращаться в такое пространство и бывать там как можно чаще.

Преобразование городской среды с помощью «искусства для улиц» является известным способом качественного изменения проблемных территорий, акцентирования значимости места и его социокультурной реновации [5].

Стрит-арт (англ. street art, или уличное искусство) — это стиль и разновидность современного изобразительного искусства, в котором фоном для размещения работ художников служит окружающее людей пространство городов. Многие произведения стрит-арта имеют ярко выраженную социальную направленность и носят протестный характер [6]. Представители этого искусства создают уличные шедевры не только для самовыражения, но и с целью привлечения внимания общественности к важным повседневным проблемам.

Понятие «уличное искусство» намного шире стрит-арта и включает «различные формы творческой активности в городском и общественном пространстве (граффити, стрит-арт, городские интервенции и пр.)» [7]. Так, например, масштабные изображения на всю высоту фасада, часто именуемые «мурал» (от исп. el muro — стена, стенка), выходят за границы представлений о «чистом» стрит-арте, являясь синтезом стрит-арта и монументальной живописи [8].

Родиной современного стрит-арта принято считать США. Из Филадельфии стрит-арт, а точнее — одно из его проявлений — граффити быстро добралось до Нью-Йорка. В течение нескольких лет подростки этого мегаполиса состязались между собой в художественном таланте [9]. Особой популярностью в этот период пользовался «тэггинг» — искусство нанесения на стены авторской подписи с указанием своего прозвища и номера. Постепенно граффити стало настоящим бедствием для всех крупных мегаполисов США. Художники не только разукрашивали стены домов, но и до неузнаваемости разрисовывали вагоны метрополитена. Ситуация становилась неуправляемой и вызвала резкую негативную реакцию большинства жителей [10].

В начале 1980-х гг. американские власти нашли грамотное решение проблемы — стрит-арт получил официальное признание как новый вид искусства. В салонах начали массово проводить выставки работ художников, а на улицах городов появились специализированные площадки для творчества [11].

С начала XXI в. уличное искусство превратилось из городской новинки в альтернативную туристическую достопримечательность. Когда уличное искусство используется для представления наследия сообщества, оно привлекает туристов, например, как галерея Ист-Сайд в Берлине [12]. Общественность стала лучше понимать уличное искусство

и осознавать эстетическую роль уличного искусства в улучшении городского пейзажа и его экономической ценности [13].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Сегодня явление стрит-арта превратилось в искусство, продиктованное веянием времени. Оно стало инструментом системы пропагандистского и информационного толка, символизирует диалог художника со зрителем, являясь актуальным отражением современности его внесистемной альтернативой, проводником передовых идей [14]. Постановка перед прогрессивным обществом злободневных вопросов, побуждение к дискуссии, ситуационному анализу, формированию активной позиции, продвижение передовых идей — основная смысловая нагрузка уличного искусства [15].

Работы направления стрит-арт могут быть рассмотрены как произведения уличного искусства, вписывающиеся в окружающее городское пространство. В данной работе анализируется их способность преобразовать город, воздействовать на городскую среду, кардинально менять весь ее облик, значение и назначение [16].

Функциональная основа современного стрит-арта складывается из нескольких составляющих, которые можно классифицировать в следующем порядке:

- 1) пространство свободных высказываний;
- 2) актуализация социально-политических тем (бедность, неравенство, дискриминация, злоупотребления, антивоенная тематика, экология);
- 3) побудительная функция (визуальное побуждение к действию);
- 4) юмор, эстетика, воспитание вкуса, чувства гармонии;
- 5) концентрация внимания (привлечение внимания, акцентирование и анализ посредством ярких красок);
- 6) протестная составляющая;
- 7) форма коммуникаций [17].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На первое место российских граффити-художников можно поставить Юлию Волчкову. Она невероятно талантливая художник из Нижневартовска, прославившаяся не только дома, но и за границей. Ее муралы изображают разнообразных героев со всего мира. Чаще всего они в процессе какого-нибудь занятия. Юлия отточила свое мастерство до такой степени, что не упускает в своих фотореалистичных рисунках практически ни единой детали [18].

Константин Данилов, он же Zmogk, начал свою карьеру райтера еще в конце 90-х гг. и с тех пор стал одним из самых известных и уважаемых художников в России. Как и все начинающие, Zmogk сначала рисовал шрифтовые граффити на ули-

цах, но со временем перешел на холсты, цифровой арт и работы в широком публичном пространстве. На данный момент он в основном занимается галерейным искусством и создает большие муралы на жилых и коммерческих зданиях. Стиль Zmogk строится на использовании ярких красок, четких геометрических форм, мозаичного способа создания цельных картин и приверженности абстракции [19].

В последние годы в Рязани активно начал развиваться стрит-арт. Данное направление искусства нуждается в поддержке и участии административного ресурса. Субкультура стрит-арта встречает понимание городских властей в части контроля, продвижения, спонсорской помощи и привлечения новых лиц.

Например, Владивостокская студия «33+1» разместила несколько артов на рязанских улицах. Работы «Швея» на ул. Фурманова, «Садовник Рюминых» в Нижнем городском парке со стороны ул. Свободы, «Салтыков-Щедрин» на ул. Щедрина, д. 37, «Солдат с сельдами» на ул. Кольцова, «Спящий крестьянин» на ул. Пожалостина, д. 16, «Весовщик» на ул. Почтовой (рис. 1).

Арты выполнены в технике сграффито. Эта техника изображения заключается в нанесении на основу нескольких различных по цвету слоев материала. Потом художник процарапывает рисунок по эскизу. Основатель студии «33+1» Павел Шугуров — один из главных уличных художников страны. Он живет во Владивостоке, но его работы выставляются в московском музее современного искусства «Гараж», питерской «Эрарте» и зарубежных галереях.

Среди рязанских художников в этом направлении активно работает Дуома и Александр Синицын.

Александр Дёмкин (Duoma) ворвался в российский стрит-арт в 2018 г. С тех пор он с большим упорством и постоянством рисует масштабные муралы по всей стране. Героями работ Дуома в основном являются молодые люди. Они вызывают у наблюдателя определенную эмоцию (грусть, радость, задумчивость) и мысленно сосредоточены, углублены в себя.

Дёмкин рисует свои муралы на жилых зданиях, больших бетонных конструкциях и заброшенных объектах. Есть в его творчестве место для различных коммерческих проектов.



Рис. 1. Стрит-арты Владивостокской студии «33+1» на рязанских улицах

Fig. 1. Street art of the Vladivostok studio “33+1” in the Ryazan streets

Среди его работ: мурал на корпусе Рязанского государственного медицинского университета, 2019 г.; граффити на заднем фасаде Дворца культуры «Приокский», 2021 г.; граффити «Культурное пространство Fabrika», 2020 г.; граффити на фасаде д. 29 по ул. Павлова, 2021 г.; мурал о наследии города на здании Рязанского приборного завода, 2021 г.; граффити на здании Академии тенниса имени Озерова, 2018 г. и т.д. (рис. 2).

Последняя работа Дёмкина появилась в Рязани недавно по адресу ул. Интернациональная, д. 11Б (рис. 3). Автор говорит о своей последней рабо-

те так: «Мне нравится рисовать такие работы, где я обращаюсь к теме двора и детства. Так я отдыхаю. Нравится чередовать эти сюжеты с более сложными темами и техниками. Похоже на челночный бег от простого к сложному. Это не дает зарываться в себе и собственных идеях. Особенно нравится, когда удается вписать работу в контекст. Это, пожалуй, главное для меня отличие и преимущество работы на улице от работы в мастерской, то, что есть возможность максимально погрузиться в работу. В этом есть азарт — найти органичное сочетание локации и решения, что там можно нарисовать».



Рис. 2. Работы Александра Дёмкина

Fig. 2. Works by Alexander Demkin



Рис. 3. Работа Александра Дёмкина на ул. Интернациональная, д. 11Б

Fig. 3. The work of Alexander Demkin in Internatsionalnaya street

Художник Александр Синицын поделился мыслями по поводу одного из своих основных проектов: «Есть проекты, которыми я занимаюсь с удовольствием. У этих проектов есть творческая составляющая, в них есть где развернуться и где себя проявить. И ты ставишь их вперед просто потому, что нравятся. Есть компании и совместные с ними задумки, с которыми работать приятно. Один из проектов, реализуемых совместно с компанией Ростелеком. Он называется #АртУлочкаРТК. Сотрудничество продолжается уже больше двух лет, и я ни разу об этом не пожалел, не покривил душой, делая что-то совместно. Просто потому что внимательное и личное отношение, что очень важно. С помощью художников компания приводит в порядок свои распределительные коммуникационные шкафы, а город создает эстетическую среду. Есть и еще одно преимущество — на расписанные шкафы не наклеивают объявления, мало у кого поднимается рука испортить рисунок».

Сегодня Александр Синицын работал над изображением Фемиды на ул. Ленина возле здания бывшего облсуда (рис. 4). «За два года мы расписали 15 распределительных шкафов на улицах Ленина, Соборной, Горького, Свободы, Почтовой, Маяковского и других. В основном это пейзажи, наличники. Но теперь нам захотелось символизма. На улице Циолковского создадим картину на тему космоса, на площади Мичурина нарисуем яблони. Фемида возле здания облсуда — первое граффити

из этой серии, а всего до конца лета мы планируем создать их шесть», — рассказал «Рязанским ведомостям» А. Синицын.

Художник А. Синицын и студия «Шервуд» продолжают создавать на улицах города рисунки в стиле граффити. Такие щиты можно увидеть рядом с арт-пространством «Фабрика» и напротив здания нового музея. Возле «Фабрики» синяя будка превратилась в картину с изображением Соборной колокольни, а на другой художник изобразил вид на с. Константиново (рис. 5).

Художник украсил своей работой главный фасад Центральной городской библиотеки имени С.А. Есенина. Он изобразил портрет С.А. Есенина со словами из известного стихотворения поэта «Письмо женщине» (рис. 6).

Под руководством художника в 2021 и 2022 гг. проходил проект «Город в красках», в котором приняли участие школьники и студенты разных направлений. В данном проекте студенты Рязанского политеха расписывали ограждение железнодорожных путей на Московском шоссе 2 (рис. 7). Граффити представляет собой коллаж из стилизованных изображений памятников культурного наследия и значимых объектов г. Рязани, а также области.

Взгляд художника А. Синицына на состояние явления стрит-арта в Рязани.

— Как шло продвижение первых работ?

— Случайно и прорываясь с боем, я бы сказал так. Показать себя и зарекомендовать очень тяжело, когда ты просто художник, а рынок такими как ты переполнен.

— Как ты оцениваешь состояние стрит-арта в Рязани?

— Что-то между «стоит» и «немного развивается». Буксует. Причем хочу заметить, с художниками в городе все очень хорошо.

— Какие есть проблемы при создании стрит-арта? Как город влияет на творчество?



Рис. 4. Работа А. Синицына «Фемида» на ул. Ленина возле здания бывшего облсуда

Fig. 4. The work of Alexander Sinitsyn “Themis in Lenin street near the building of the former regional court”



Рис. 5. Роспись коммуникационных щитов

Fig. 5. Painting of communication boards

— Проблема на самом деле одна: хочется делать более нестандартные работы, на которые инвестор (которых и так очень мало) не всегда соглашается. Надеюсь, поступательно, можно будет менять настроение и отношение людей и администрации к своему городу через стрит-арт и вообще через искусство.

— Что ты хочешь показать своими работами?

— Своими работами пока я просто стараюсь преобразовать то, что есть. Есть множество задумок, которые действительно могут превратить город в столицу ЦФО по уличному искусству. Но для их реализации нужны инвесторы.

В городе очень много пространств, которыми можно и нужно заниматься. Я знаю, что в ближайшие годы мы совершим рывок, но без заинтересованности бизнеса и граждан это сделать будет сложнее.

— Какую работу ты считаешь самой значимой?

— Надеюсь, она еще впереди.

— Расскажи о проекте «Город в красках».

— Этот проект мы начали в прошлом году, с подачи администрации города он был приурочен ко Дню города. В этом году День города перенесли, но сроки остались прежние. К тому же к нам присоединились российские студенческие отряды, которые, получив грант фонда президентских грантов, смогли спонсировать нам материалы.

— Мы столкнулись с проблемой неосведомленности граждан в области стрит-арта. Новое поколение не знает о новых течениях в искусстве, о проектах,



Рис. 6. Граффити «Сергей Александрович Есенин»

Fig. 6. Graffiti "Sergei Alexandrovich Yesenin"



Рис. 7. Граффити на ограждении железнодорожных путей

Fig. 7. Graffiti on the railway fence

реализованных и запланированных, о возможностях, позволяющих творить в рамках закона, а не вандализма. Какое решение проблемы предложил бы ты?

— Сейчас создается ресурс в интернете — Центр народных разработок, там же будет и план проектов на несколько месяцев вперед, над которыми ведется работа. Сейчас эту функцию выполняет сообщество ВКонтакте «Настоящая Рязань». Там мы в том числе рассказываем о том, что создаем для города. Сейчас недостаточно проработан информационный ресурс, не хватает личного подхода к людям, и мы это постепенно будем менять.

— Какое развитие своего творчества в ближайшее время видишь ты, к чему ты стремишься?

— Хочется уходить в символизм от реализма, к большей стилизации, иносказанию. Планируем создавать материал, содержащий скрытые смыслы, заставляющий вдумываться, размышлять. Хочется делать вещи, на которые будут потом смотреть десятилетиями и гордиться тем городом, в котором живут.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Еще недавно стрит-арт и граффити воспринимались обществом как акт вандализма и порчи имущества. Сейчас данное направление уличного искусства стало неотъемлемой частью нашей жизни, а красиво оформленные произведения стрит-арта во многих городах, особенно муралы, ежегодно привлекают миллионы туристов.

Объекты стрит-арта приносят новые краски в жизнь граждан. Благодаря выдающимся художественным работам депрессивные районы и окраины постепенно становятся яркими и привлекательными для жизни людей. Это искусство помогает выявлять социальные проблемы и акцентировать на них внимание [20]. Защита социально уязвимых слоев населения, борьба с болезнями, охрана природы и многие другие темы становятся направлением притяжения идей. Высокое мастерство исполнения сделало обращения художников к публике более привлекательными и оттого более значимыми.

С течением времени искусство стрит-арта популяризируется и привлекает внимание представителей администрации города. Появляются инициативные городскими властями и экспертным сообществом мероприятия с использованием контента субкультуры в форме конкурсов, зрелищных мероприятий в виде «музея под открытым небом»,

мастер-классов. Неразрывная связь стрит-арта с рекламной индустрией имеет большие шансы на развитие. Исследования стрит-арта, как и других форм городской визуальности, которые он «проявляет», в ближайшее время вряд ли будут исчерпаны [21].

«Отличие граффити от других видов искусства состоит в том, что мы не выбираем внимать ему или нет.

Его создатели предъявляют его нам без права выбора — оказался на этом месте — смотри. Тем не менее отношение к граффити как к явлению (даже если они не считают его искусством) у россиян в целом лояльное», — изложил свой взгляд на место стрит-арта в современном городском пространстве руководитель департамента исследований Степан Львов [22].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Панов П.В. и др.* Борьба за идентичность и новые институты коммуникаций / под. ред. П.В. Панова, К.А. Сулимова, Л.А. Фадеевой. М. : РОССПЭН, 2012. 261 с.
2. *Егорова А.А.* Коммуникативные стратегии стрит-арт (на примере практик екатеринбургских художников) // Известия Уральского федерального университета. Серия 1: проблемы образования, науки и культуры. 2016. Т. 147. № 1. С. 127–137. EDN TQNTRE.
3. *Архипова Н.А.* Восприятие граффити в городском пространстве — китч или искусство? // Гуманитарные основания социального прогресса: Россия и современность : сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. 2016. С. 30–35. EDN WJWMXB.
4. *Аске Д.* На гребне «уличной волны» // Институт исследования стрит-арта.
5. *Жидков В.С., Соколов К.Б.* Искусство и общество. СПб. : Алетейя, 2005. 589 с.
6. *Балюк О.* Пиар-акция или творчество горожан. Как фраза «Город бесов» за три дня стала брендом Екатеринбурга // Информационное агентство «Znak». 2019.
7. *Магидович М.* Поле искусства как предмет исследования // Новое литературное обозрение. 2003. № 2 (60). С. 54–69. EDN XWZQJF.
8. *Самутина Н.В., Запорожец О.Н.* Стрит-арт и город // *Laboratorium*: журнал социальных исследований. 2015. № 2. С. 5–17. EDN WMEXUN.
9. *Самутина Н.В., Запорожец О.Н.* Городские поверхности как пространство коммуникации: прошлое и настоящее Берлина в культуре стрит-арта // Сад ученых наслаждений. 2017. С. 299–329.
10. *Калашикова К.Н.* Визуальная коммуникация в городском пространстве Новосибирска: дифференциация и восприятие // Вестник Томского государственного университета. 2020. № 458. С. 101–109. DOI: 10.17223/15617793/458/12. EDN FKOBAG.
11. *Бикбов А.* Социоанализ культуры: внутренние принципы и внешняя критика // Новое литературное обозрение. 2003. № 60. С. 38–64.
12. *Мискарян К.* Галерея под открытым небом // Вокруг света. 2007. № 11 (2806). С. 14–22.
13. *Михайлов С.М., Хафизов Р.Р.* Стрит-арт как вид суперграфики в дизайне современного города // Вестник Оренбургского государственного университета. 2014. № 5 (166). С. 106–111. EDN OUSCFF.
14. *Бурдые П.* Социальное пространство: поля и практика / пер. с франц.; составитель Н.А. Шматко. М. ; СПб. : Алетейя, 2005. 576 с. EDN QOENQL.
15. *Курсанова Е.А.* Социально-философский анализ концепций стрит-арта: генезис и подходы к определению феномена // Вестник Томского государственного университета. Философия. Социология. Политология. 2017. № 38. С. 121–129. DOI: 10.17223/1998863X/38/12. EDN ZBBDKT.
16. *Морозова А.П.* Уличное искусство как фактор социокультурного развития города (на примере г. Екатеринбурга) // Социокультурная среда российской провинции в прошлом и настоящем : сб. науч. ст. 2015. С. 279–282. EDN VKGUGB.
17. *Самутина Н.В., Запорожец О.Н., Кобыща В.В.* Не только Бэнкси: стрит-арт в контексте современной городской культуры // Неприкосновенный запас. 2012. № 86 (6). С. 221–244.
18. *Великая Н.М., Голосеева А.А.* Актуальное искусство в культурном пространстве современной России: социологическое измерение // Вестник РГГУ. Серия: Философия. Социология. Искусствоведение. 2013. № 2 (103). С. 29–44. EDN PZYDMP.
19. *Петрова Л.Е., Бурлуцкая М.Г.* Аудитория современного искусства в крупных городах России: ядро, периферия и перспектива // Мир России. Социология. Этнология. 2020. Т. 29. № 4. С. 171–203. DOI: 10.17323/1811-038X-2020-29-4-171-203. EDN WWPVKVD.
20. *Власова Е.Г., Антипина З.С.* Стрит-арт и дворовое благоустройство как формы освоения городского пространства (на примере современной Перми) // Этнографическое обозрение. 2015. № 5. С. 73–82. EDN UXVZTV.
21. *Денисов Р.А.* Стрит-арт как инструмент городского дизайна // Научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов НИУ ВШЭ им. Е.В. Арменского : мат. конф. 2015. С. 297–298. EDN TMYGIP.
22. *Кузнецова В.А.* Стрит-арт как форма выражения политического и социального протеста в современной Бразилии // Древняя и Новая Романия. 2014. № 13. С. 601–614. EDN SEXCSJ.

Поступила в редакцию 15 сентября 2023 г.

Принята в доработанном виде 17 сентября 2023 г.

Одобрена для публикации 27 сентября 2023 г.

ОБ АВТОРАХ: Светлана Станиславовна Правдолюбова — доцент кафедры архитектуры, градостроительства и дизайна; Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета; 390000, г. Рязань, ул. Право-Лыбедская, д. 26/53; SPIN-код: 7028-1316, ORCID: 0000-0001-5611-7230; Pravda_63@mail.ru;

Валерия Александровна Егорова — старший преподаватель кафедры архитектуры, градостроительства и дизайна; Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета; 390000, г. Рязань, ул. Право-Лыбедская, д. 26/53; SPIN-код: 7085-6353, ORCID: 0000-0002-9916-865X; egorowalera97@yandex.ru;

Анастасия Олеговна Зубкова — техник (дублер архитектора); Проектный институт «Ника» (ПИ «Ника»); 390026, г. Рязань, ул. Татарская, д. 91; angel1901zubkova@yandex.ru;

Алиса Дмитриевна Сидорова — архитектор; Проектреставрация; 390005, г. Рязань, ул. Гагарина, д. 14, лит. А; sidorovaalisa2005@mail.ru.

Вклад авторов:

Правдолюбова С.С. — научное руководство, разработка концепции исследования, методология исследования.

Егорова В.А. — искусствоведческий анализ, редакция текстового материала.

Зубкова А.О. — изучение российского и зарубежного опыта исследования.

Сидорова А.Д. — анализ графического материала, проведение статистических исследований.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Panov P.V. et al. *Struggle for identity and new institutions of communications* / ed. P.V. Panova, K.A. Sulimova, L.A. Fadeeva. Moscow, ROSSPEN, 2012; 261. (rus.).
2. Egorova A.A. Communication strategies of street art (on the example of the practices of Yekaterinburg artists). *Izvestia Ural Federal University Journal. Series 1. Issues in Education, Science and Culture*. 2016; 147(1):127-137. EDN TQNTRE. (rus.).
3. Arkhipova N.A. Perception of graffiti in urban space — kitsch or art? *Humanitarian Foundations of Social Progress: Russia and Modernity : collection of articles of the International Scientific and Practical Conference*. 2016; 30-35. EDN WJWMXB. (rus.).
4. Aske D. *On the crest of the "street wave"*. Street Art Research Institute. (rus.).
5. Zhidkov V.S., Sokolov K.B. *Art and society*. St. Petersburg, Aleteyya, 2005; 592. (rus.).
6. Balyuk O. PR action or creativity of citizens. How the phrase "City of demons" became the brand of Yekaterinburg in three days. *Information agency "Znak"*. 2019. (rus.).
7. Magidovich M. The field of art as a subject of research. *New Literary Review*. 2003; 2(60):54-69. EDN XWZQJF. (rus.).
8. Samutina N.V., Zaporozhets O.N. Street art and the city. *Laboratorium: Journal of Social Research*. 2015; 2:5-17. EDN WMEXUN. (rus.).
9. Samutina N., Zaporozhets O. Urban surfaces as a space of communication: the past and present of Berlin in the culture of street art. *Garden of Scientific Delights*. 2017; 299-329. (rus.).
10. Kalashnikova K.N. Visual communication in the urban space of Novosibirsk: differentiation and perception. *Tomsk State University Journal*. 2020; 458:101-109. DOI: 10.17223/15617793/458/12. EDN FKOBAG. (rus.).
11. Bikbov A. Socioanalysis of culture: internal principles and external criticism. *New Literary Review*. 2003; 60:38-64. (rus.).
12. Miskaryan K. Open-air gallery. *Around the World*. 2007; 11(2806):14-22. (rus.).
13. Mikhailov S.M., Hafiz R.R. Street art as a form supergraphics in design of modern city. *Vestnik of the Orenburg State University*. 2014; 5(166):106-111. EDN OUSCFF. (rus.).
14. Bourdieu P. *Social space: fields and practices* / transl. from French compiled by N.A. Shmatko. Moscow; St. Petersburg, Aleteyya, 2005; 576. EDN QOENQL. (rus.).
15. Kirsanova E.A. Socially-philosophical analysis of concepts of street art: the approaches to the definition and origin of the phenomenon. *Bulletin of Tomsk State University. Philosophy. Sociology. Political Science*. 2017; 38:121-129. DOI: 10.17223/1998863X/38/12. EDN ZBBDKT. (rus.).
16. Morozova A.P. Street art as a factor in the socio-cultural development of the city (on the example of Yekaterinburg). *Socio-cultural environment of the Russian province in the past and present : collection of scientific articles*. 2015; 279-282. EDN VKGUGB. (rus.).
17. Samutina N.V., Zaporozhets O.N., Kobyshecha V.V. Not only Banksy: street art in the context of modern urban culture. *Emergency Reserve*. 2012; 86(6):221-244. (rus.).
18. Velikaya N., Goloseyeva A. Actual arts in the cultural space of modern Russia: sociological approach. *RSUH/RGGU Bulletin. Series: Philosophy. Sociology. Art Studies*. 2013; 2(103):29-44. EDN PZYDMP. (rus.).

19. Petrova L., Burlutskaya M. The audience of contemporary art in major Russian cities: core, periphery and prospective audiences. *Universe of Russia. Sociology. Ethnology*. 2020; 29(4):171-203. DOI: 10.17323/1811-038X-2020-29-4-171-203. EDN WWPVKVD. (rus.).

20. Vlasova E.G., Antipina Z.S. Street art and yard improvement as a form of development of urban space (on the example of modern Perm). *Ethnographic Review*. 2015; 5:73-82. EDN UXVZTV. (rus.).

21. Denisov R.A. Street art as a tool for urban design. *Scientific and technical conference of students, graduate students and young specialists of the National Research University Higher School of Economics. E.V. Armensky : materials of the conf.* 2015; 297-298. EDN TMYGIP. (rus.).

22. Kuznetsova V. Street art as a form of expression of political and social protest in modern Brazil. *Ancient and New Romania*. 2014; 13:601-614. EDN SEXCSJ. (rus.).

Received September 15, 2023.

Adopted in revised form on September 17, 2023.

Approved for publication on September 27, 2023.

B I O N O T E S: **Svetlana S. Pravdolubova** — Associate Professor of the Department of Architecture, Urban Planning and Design; **Ryazan Institute (branch) of the Moscow Polytechnic University**; 26/53 Pravo-Lybidskaya st., Ryazan, 390000, Russian Federation; SPIN-code: 7028-1316, ORCID: 0000-0001-5611-7230; Pravda_63@mail.ru;

Valeria A. Egorova — senior lecturer of the Department of Architecture, Urban Planning and Design; **Ryazan Institute (branch) of the Moscow Polytechnic University**; 26/53 Pravo-Lybidskaya st., Ryazan, 390000, Russian Federation; SPIN-code: 7085-6353, ORCID: 0000-0002-9916-865X; egorowalera97@yandex.ru;

Anastasia O. Zubkova — technician (understudy of the architect); **Design Institute “Nika”**; 91 Tatarskaya st., Ryzan, 390026, Russian Federation; angel1901zubkova@yandex.ru;

Alisa D. Sidorova — architect; **Proektrestavratsiya**; lit. A, 14 Gagarina st., Ryazan, 390005, Russian Federation; sidorovaalisa2005@mail.ru.

Contribution of the authors:

Svetlana S. Pravdolubova — scientific management, development of the research concept, research methodology.

Valeria A. Egorova — art history analysis, editing of text material.

Anastasia O. Zubkova — study of Russian and foreign research experience.

Alisa D. Sidorova — analysis of graphic material, statistical research.

The authors declare no conflict of interest.

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

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 624.04

DOI: 10.22227/1997-0935.2024.1.54-66

Оценка влияния ротационных компонент сейсмического воздействия на напряженно-деформированное состояние простых систем

Олег Вартанович Мкртычев, Андрей Александрович Решетов,
Екатерина Михайловна Лохова

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

АННОТАЦИЯ

Введение. В настоящее время при расчете конструкций на сейсмические воздействия, как правило, учитываются только поступательные компоненты сейсмического воздействия. Однако анализ возникающих дефектов в зданиях и сооружениях, подвергающихся сейсмическому воздействию, указывает на пространственную природу работы конструкций, что свидетельствует о необходимости учета также вращательных компонент сейсмического воздействия при проектировании в сейсмических регионах для всех зданий и сооружений. Цель исследования — оценка влияния вращательных компонент на напряженно-деформированное состояние (НДС) простых систем. В рамках данного исследования вращательные компоненты акселерограмм получены как от действия только одной поступательной компоненты, так и от действия двух поступательных компонент сейсмического воздействия для интегральной модели сейсмического движения; уравнение движения получено с их учетом. Дифференциальные уравнения движения для исследуемых систем решены в плоской и пространственной постановках.

Материалы и методы. Задача в плоской постановке решена с использованием метода центральных разностей в программном комплексе (ПК) LS-DYNA и метода Рунге – Кутты четвертого порядка в ПК MATLAB, с учетом одной поступательной компоненты, а также с учетом одной поступательной и одной вращательной компонент. Задача в пространственной постановке решена в программном обеспечении LS-DYNA с учетом только трех пространственных компонент, а также с учетом трех поступательных и трех вращательных компонент.

Результаты. Получены максимальные и минимальные значения перемещений и значения напряжений фон Мизеса, возникающих как от действия только поступательных компонент, так и от комбинированного действия поступательных и вращательных компонент.

Выводы. На основе результатов исследования проведен сравнительный анализ, в ходе которого сделано заключение, что влияние вращательных компонент сейсмического воздействия на НДС исследуемых систем незначительно, однако увеличение вклада вращательных компонент в НДС системы пропорционально ее высоте.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сейсмостойкость, акселерограмма, ротационные компоненты, метод центральных разностей, метод Рунге – Кутты, LS-DYNA, MATLAB, вращательные компоненты

Благодарности. Работа финансировалась Министерством науки и высшего образования РФ, проект № FSWG-2023-0004 «Система территориальной сейсмической защиты критически важных объектов инфраструктуры на основе гранулированных метаматериалов, обладающих свойствами широкодиапазонных фоновых кристаллов».

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Мкртычев О.В., Решетов А.А., Лохова Е.М. Оценка влияния ротационных компонент сейсмического воздействия на напряженно-деформированное состояние простых систем // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19. Вып. 1. С. 54–66. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.1.54-66

Автор, ответственный за переписку: Екатерина Михайловна Лохова, elm97@mail.ru.

Estimated effect of rotational components of seismic impact on the strength-strain state of simple systems

Oleg V. Mkrtychev, Andrey A. Reshetov, Ekaterina M. Lokhova

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

ABSTRACT

Introduction. At the present time, when calculating structures for seismic effects, usually only the translational components of seismic effects are taken into account. However, the analysis of emerging defects in buildings and structures subjected to seismic action indicates the spatial nature of structural behavior, which indicates the necessity to take into account also the rotational components of seismic action in the design of all buildings and structures in seismic regions. The objective of this study is to assess the influence of rotational components on the stress-strain state of simple systems. In the scope of this study, the rotational components of accelerograms are obtained from both the action of only one translational component and from the action of two translational components of seismic action for an integral seismic motion model; and the equation of motion has been derived considering them.

Materials and methods. The differential equations of motion for the investigated systems were solved in both planar and spatial settings. The problem in the plane formulation was solved using the central differences method in LS-DYNA software and the fourth-order Runge – Kutta method in the MATLAB software, considering one translational component and also considering one translational and one rotational component. The problem in the spatial setting was solved in the LS-DYNA software, considering only three spatial components and also considering three translational and three rotational components.

Results. During the study, maximum and minimum displacement values and von Mises stress values were obtained, resulting from the action of only translational components and from the combined action of translational and rotational components.

Conclusions. Based on the results of the study, a comparative analysis was conducted, leading to the conclusion that the influence of rotational components of seismic action on the stress-strain state of the investigated systems is insignificant. However, the increase in the contribution of rotational components to the stress-strain state of the system is proportional to its height.

KEYWORDS: seismic resistance, accelerogram, rotational components, central difference method, Runge-Kutta method, LS-DYNA, MATLAB, rotational components

Acknowledgments. This research was supported by Ministry Science and Higher Education of the Russian Federation (project No. FSWG-2023-0004, “A system of territorial seismic protection of critical infrastructure facilities based on granular metamaterials with the properties of wide-range phonon crystals”).

FOR CITATION: Mkrtychev O.V., Reshetov A.A., Lokhova E.M. Estimated effect of rotational components of seismic impact on the strength-strain state of simple systems. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2024; 19(1):54-66. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.1.54-66 (rus.).

Corresponding author: Ekaterina M. Lokhova, elm97@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Более 25 % площади Российской Федерации относится к сейсмически активным зонам, существенная доля которой — это территории с повышенной активностью, достигающей 8–10 баллов. Столь сильное воздействие приводит к значительным повреждениям сооружений и зачастую влечет за собой потери среди населения. Снижение негативных последствий от землетрясений возможно благодаря сейсмостойкому строительству, одной из задач которого является определение и исследование процессов взаимодействия зданий с их основанием. Анализ возникающих дефектов в сооружениях и конструкциях, подвергнувшихся сейсмическому воздействию, указывает на пространственный характер поведения конструкций — развитие систем трещин в вертикальных угловых несущих железобетонных элементах, разрушение протяженных в плане строений. Кроме того, разрушения от кручения в плоскости основания наблюдались как для симметричных, так и для несимметричных в плане зданий. В работах [1–11] вы-

деляют две основные группы явлений, указывающих на пространственную работу сооружений:

1) возникающие вследствие несовпадения центра масс и центра жесткости строительных конструкций, неоднородности распределения масс и т.д.;

2) явление пространственной работы грунтового основания, которая объясняется непосредственно волновым характером сейсмических воздействий.

Вышеизложенные эффекты служат причиной пространственной работы конструкций, таким образом, помимо трех поступательных компонент, необходимо детальное рассмотрение воздействия, оказываемого на здания и сооружения от дополнительных трех ротационных компонент. В своих работах Ю.П. Назаров [1, 11] обозначил две ключевые модели сейсмического движения:

1. Интегральная — определяет характеристики движения массива грунта шестью компонентами, три из которых поступательные и три ротационные. В данной модели рассматривается некоторый фрагмент основания, принимаются осредненные параметры для этого фрагмента, используются теоремы Стокса [3].

2. Дифференцированная — устанавливает перемещения каждой точки изучаемого грунтового основания и представляет сейсмическое воздействие в виде векторного поля перемещений.

Цель исследования — получение ротационной компоненты акселерограмм по интегральной модели от действия одной поступательной компоненты и действия двух поступательных компонент, а также оценка влияния ротационных компонент на напряженно-деформированное состояние (НДС) простой системы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Отклик системы с конечным числом степеней свободы может быть описан дифференциальным уравнением в матричной форме:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{p\}, \quad (1)$$

где $[M]$ — матрица масс; $\{\ddot{u}\}$ — вектор узловых ускорений; $[C]$ — матрица демпфирования; $\{\dot{u}\}$ — вектор узловых скоростей; $[K]$ — матрица жесткости; $\{u\}$ — вектор узловых перемещений; $\{p\}$ — вектор приложенных нагрузок.

Учет нелинейности в постановке задачи приводит к тому, что элементы матрицы жесткости начинают зависеть от вектора перемещений. Таким образом, задача включает решение нелинейных алгебраических уравнений на каждом шаге интегрирования по времени [12–17]. Явные методы решения дифференциальных уравнений являются наиболее эффективными, поскольку их отличие заключается во введении скоростей и ускорений в расчет как неизвестных и их прямом вычислении, а не через численное дифференцирование перемещений. Программный комплекс (ПК) LS-DYNA реализует метод центральных разностей с явными схемами интегрирования, который состоит в конечно-разностной аппроксимации скорости и ускорения во времени. Основное уравнение метода центральных разностей может быть представлено в следующей форме:

$$M \cdot \ddot{u}_t + C \dot{u}_t + K u_t = f_t^a; \quad (2)$$

$$\begin{aligned} v_{t+\Delta t/2} &= v_{t-\Delta t/2} + a_t \Delta t; \\ u_{t+\Delta t} &= u_t + v_{t+\Delta t/2} \frac{\Delta t_t + \Delta t_{t+\Delta t}}{2}. \end{aligned} \quad (3)$$

Также можно получить решение дифференциального уравнения движения с помощью метода Рунге – Кутта, реализованного в программном обеспечении MATLAB. В методе Рунге – Кутта уравнение четвертого порядка для вычислений с постоянным шагом интегрирования сводится к двум дифференциальным уравнениям первого порядка [18–20] и записывается в виде:

$$\ddot{u}(t) = \frac{1}{m} [P(t) - ku(t) - c\dot{u}(t)] = F(u, \dot{u}, t). \quad (4)$$

Уравнение (4) может быть записано в виде двух уравнений первого порядка:

$$\begin{aligned} \dot{u}(t) &= y(t); \\ \dot{y}(t) &= F(u, y, t), \end{aligned} \quad (5)$$

где

$$\begin{aligned} u(t_{i+1}) &= u(t_i) + \left(\frac{du}{dt} \right)_{avg} \Delta t; \\ y(t_{i+1}) &= y(t_i) + \left(\frac{dy}{dt} \right)_{avg} \Delta t, \end{aligned} \quad (6)$$

где

$$\left(\frac{dy}{dt} \right)_{avg} = \frac{1}{6} \left[\left(\frac{dy}{dt} \right)_{t_i} + 4 \left(\frac{dy}{dt} \right)_{t_i+h/2} + \left(\frac{dy}{dt} \right)_{t_i+h} \right]. \quad (7)$$

Следующее рекурсивное уравнение используется для нахождения значения $u(t)$ в разные моменты времени t_i в соответствии с методом Рунге – Кутта четвертого порядка:

$$\begin{aligned} u_{i+1} &= u_i + \frac{\Delta t}{6} (Y_1 + 2Y_2 + 2Y_3 + Y_4); \\ \dot{u}_{i+1} &= y_{i+1} = y_i + \frac{\Delta t}{6} (F_1 + 2F_2 + 2F_3 + F_4), \end{aligned} \quad (8)$$

где

$$\begin{aligned} T_1 &= t_i; & U_1 &= u_i; \\ T_2 &= t_i + h/2; & U_2 &= u_i + Y_1 h/2; \\ T_3 &= t_i + h/2; & U_3 &= u_i + Y_2 h/2; \\ T_4 &= t_i + h; & U_4 &= u_i + Y_3 h; \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} Y_1 &= y_i; & F_1 &= F(T_1, U_1, Y_1); \\ Y_2 &= y_i + F_1 h/2; & F_2 &= F(T_2, U_2, Y_2); \\ Y_3 &= y_i + F_2 h/2; & F_3 &= F(T_3, U_3, Y_3); \\ Y_4 &= y_i + F_3 h; & F_4 &= F(T_4, U_4, Y_4). \end{aligned}$$

Значение относительного ускорения в определенный момент времени может быть вычислено с помощью следующего уравнения:

$$\ddot{u}_{i+1} = \frac{1}{m} (P_{i+1} - ku_{i+1} - c\dot{u}_{i+1}). \quad (10)$$

В интегральной модели сейсмического движения векторное поле линейных перемещений от сейсмического воздействия описывается обобщенной волновой моделью, которая заключается в том, что движение вдоль O_{xk} основано на совместной работе P -, SH - и SV -волн (рис. 1) [21–24].

Поступательное перемещение X_k равно:

$$X_k = u_k + v_k + w_k. \quad (11)$$

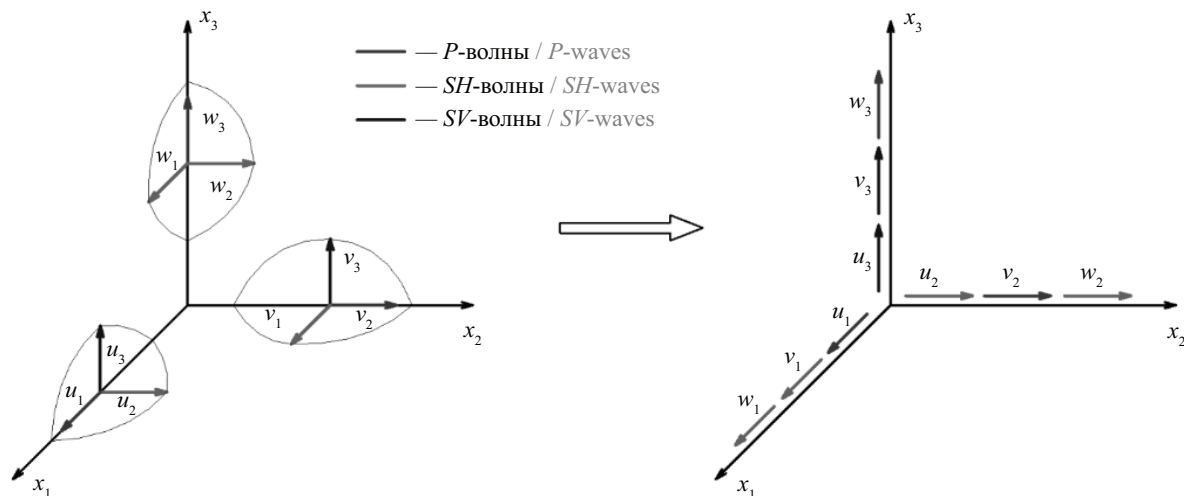


Рис. 1. Обобщенная волновая модель

Fig. 1. Generalized wave model

X_k связан с компонентами u_k , v_k и w_k следующими уравнениями:

$$\begin{aligned} u_1 &= c_{11}X_1; u_2 = c_{12}X_2; u_3 = c_{13}X_3; \\ v_1 &= c_{21}X_1; v_2 = c_{22}X_2; v_3 = c_{23}X_3; \\ w_1 &= c_{31}X_1; w_2 = c_{32}X_2; w_3 = c_{33}X_3, \end{aligned} \quad (12)$$

где c_{ij} — весовые коэффициенты из матрицы $C = [c_{ij}]$, $(i, j = 1, 2, 3)$.

Поступательные и вращательные движения во временной области связаны соотношениями:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \frac{1}{2} \left[\bar{A}_{31}^{(2)} u_3 - \bar{A}_{21}^{(3)} u_2 + \left(\bar{A}_{32}^{(2)} + \frac{1}{c_2} \bar{A}_{32}^{(r)} \right) v_3 + \right. \\ &\quad \left. + \bar{A}_{22}^{(3)} v_2 + \bar{A}_{33}^{(2)} w_3 - \left(\bar{A}_{23}^{(3)} + \frac{1}{c_2} \bar{A}_{32}^{(r)} \right) w_2 + \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{c_2} \left(\frac{dw_2}{dt} - \frac{dv_3}{dt} \right) \right]; \\ \alpha_2 &= \frac{1}{2} \left[\bar{A}_{11}^{(3)} u_1 - \left(\bar{A}_{31}^{(1)} + \frac{1}{c_2} \bar{A}_{31}^{(r)} \right) u_3 + \bar{A}_{12}^{(3)} v_1 - \right. \\ &\quad \left. - \bar{A}_{32}^{(1)} v_3 + \left(\bar{A}_{13}^{(3)} + \frac{1}{c_2} \bar{A}_{13}^{(r)} \right) w_1 - \bar{A}_{33}^{(1)} w_3 + \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{c_2} \left(\frac{du_3}{dt} - \frac{dw_1}{dt} \right) \right]; \\ \alpha_3 &= \frac{1}{2} \left[\left(\bar{A}_{21}^{(1)} + \frac{1}{c_2} \bar{A}_{21}^{(r)} \right) u_2 - \bar{A}_{11}^{(2)} v_1 + \bar{A}_{22}^{(1)} v_2 - \right. \\ &\quad \left. - \left(\bar{A}_{12}^{(2)} + \frac{1}{c_2} \bar{A}_{12}^{(r)} \right) v_1 + \bar{A}_{23}^{(1)} w_2 - \bar{A}_{13}^{(2)} w_3 + \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{c_2} \left(\frac{dv_1}{dt} - \frac{du_2}{dt} \right) \right], \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \bar{A}_{ij}^{(1)} &= \frac{1}{A_{ij}} \frac{\partial A_{ij}}{\partial x_1}; \quad \bar{A}_{ij}^{(2)} = \frac{1}{A_{ij}} \frac{\partial A_{ij}}{\partial x_2}; \\ \bar{A}_{ij}^{(3)} &= \frac{1}{A_{ij}} \frac{\partial A_{ij}}{\partial x_3}; \quad \bar{A}_{ij}^{(r)} = \frac{1}{A_{ij}} \frac{\partial A_{ij}}{\partial t}. \end{aligned} \quad (14)$$

В данной работе используется интегральная модель сейсмического воздействия, т.е. параметры перемещений, скоростей и ускорения грунта для всех шести степеней свободы усредняются и устанавливаются в одной точке. Элементы матриц волновых процессов из выражения (13) равны нулю, поскольку P -, SH - и SV -волны имеют плоский фронт и неизменны по глубине [14]; $A_{ij} = \text{const}$. Тогда угловое ускорение можно получить следующим образом:

$$\begin{aligned} \varepsilon_y &= \frac{1}{2c} \left(\frac{d\ddot{w}_x}{dt} - \frac{d\ddot{v}_z}{dt} \right); \quad \varepsilon_x = \frac{1}{2c} \left(\frac{d\ddot{u}_z}{dt} - \frac{d\ddot{w}_y}{dt} \right); \\ \varepsilon_z &= \frac{1}{2c} \left(\frac{d\ddot{v}_y}{dt} - \frac{d\ddot{u}_x}{dt} \right), \end{aligned} \quad (15)$$

где

$$\begin{aligned} u_y &= c_{11}Y; u_x = c_{12}X; u_z = c_{13}Z; \\ v_y &= c_{21}Y; v_x = c_{22}X; v_z = c_{23}Z; \\ w_y &= c_{31}Y; w_x = c_{32}X; w_z = c_{33}Z, \end{aligned} \quad (16)$$

где X, Y, Z — значения поступательных перемещений вдоль соответствующих осей x, y, z ; c_{ij} — весовые коэффициенты волновой матрицы (17):

$$C = \begin{pmatrix} 0 & 0,5 & 0,5 \\ 0,5 & 0 & 0,5 \\ 0,5 & 0,5 & 0 \end{pmatrix}. \quad (17)$$

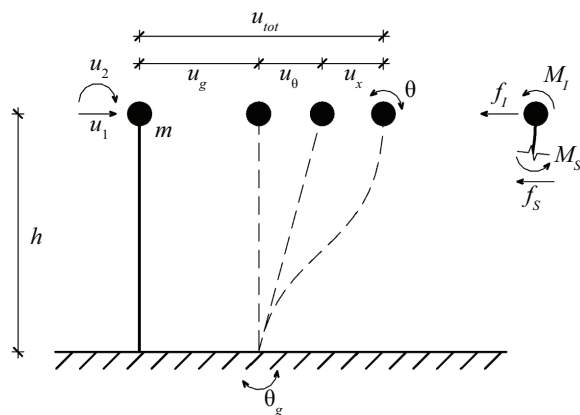


Рис. 2. Расчетная схема одномассовой системы под действием ротационных и поступательных ускорений

Fig. 2. Design scheme of a single-mass system under the action of rotational and translational accelerations

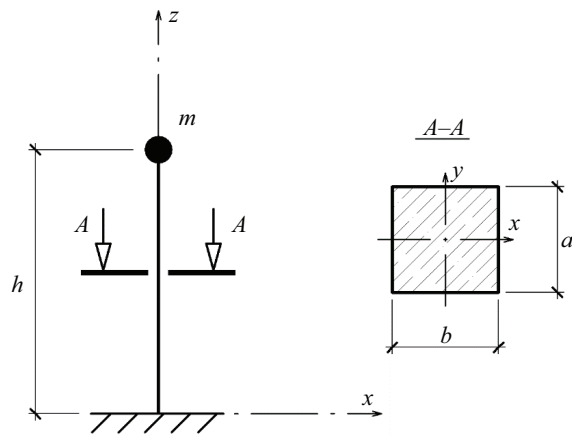


Рис. 3. Расчетная схема одномассовой системы

Fig. 3. Design scheme of a single-mass system

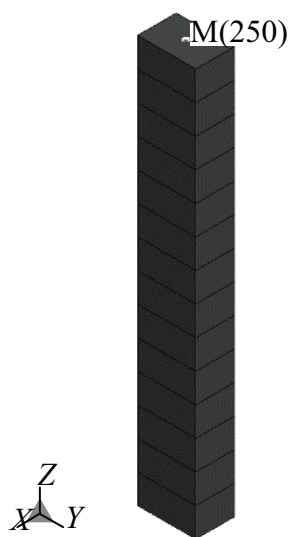


Рис. 4. Общий вид расчетной модели системы в ПК LS-DYNA

Fig. 4. General view of the calculation model of the system in the LS-DYNA PC

Таким образом, принимая во внимание предположение, что вращение происходит только за счет поступательных ускорений вдоль оси x , и подставляя формулу (16) в (15), получаем выражение для нахождения вращательной составляющей ε_y :

$$\varepsilon_y = \frac{1}{2c} \left(\frac{d\ddot{w}_x}{dt} \right). \quad (18)$$

Также:

$$\varepsilon_x = -\frac{1}{2c} \left(\frac{d\ddot{w}_y}{dt} \right). \quad (19)$$

Для расчета горизонтальных перемещений системы с двумя степенями свободы (рис. 2) от действия вращательных и поступательных компонент в плоской постановке целесообразно рассмотреть ту же систему от действия только вращательной компоненты и составить уравнение движения.

В данном случае полное перемещение u' массы m включает в себя две составляющие: u , возникающее от деформации конструкции и $h\theta_g$, где h — расстояние от основания до массы. В каждый момент времени перемещение описывается уравнением:

$$u'(t) = u(t) + h\theta_g(t). \quad (20)$$

Запишем уравнение движения, учитывающее ротации и поступательные перемещения:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = -m(\ddot{u}_g + h\ddot{\theta}_g). \quad (21)$$

Принимая во внимание две степени свободы схемы (рис. 2), где одна — поступательная, а другая — ротационная, получаем уравнение движения, из которого можно получить полное перемещение:

$$\begin{aligned} f_I + f_S = 0 &\Leftrightarrow m\ddot{u}_x + \frac{12EI}{h^3}u_x + \\ &+ \frac{6EI}{h^2}\theta = -m(\ddot{u}_g + h\ddot{\theta}_g); \\ M_I + M_S = 0 &\Leftrightarrow I_{cm}\ddot{\theta} + \frac{6EI}{h^2}u_x + \\ &+ \frac{4EI}{h}\theta = -I_o\ddot{\theta}_g. \end{aligned} \quad (22)$$

Уравнение движения для системы с одной степенью свободы для нахождения отклика одновременно от ротационных и поступательных движений системы можно получить, поделив обе части уравнения (21) на m :

$$\ddot{u}_x + 2\xi\omega_n\dot{u}_x + \omega_n^2 u_x = -(\ddot{u}_g + h\ddot{\theta}_g), \quad (23)$$

где

$$\ddot{u}_g = a_x; \quad \ddot{\theta}_g = \varepsilon_y; \quad \omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} = \frac{2\pi}{T}; \quad \xi = \frac{c}{2\sqrt{km}}.$$

Пусть стержень, показанный на рис. 3, обладает следующими характеристиками: сосредоточенной массой $m = 250 \cdot 10^3$ кг; высотой стержня $h = 4,2$ м; $a = 0,4$ м; $b = 0,6$ м; коэффициентом затух-

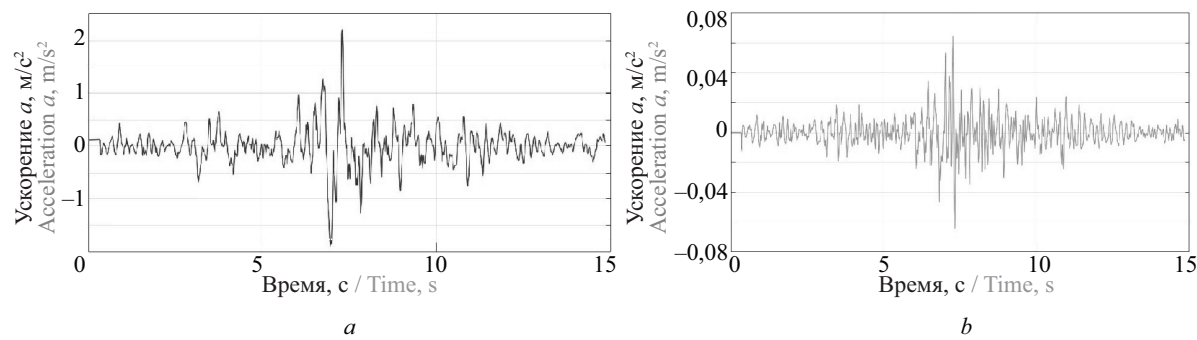


Рис. 5. Акселерограмма: *a* — поступательного движения вдоль оси *X*; *b* — ротационного движения относительно оси *Y* от действия a_x

Fig. 5. Accelerogram: *a* — of translational motion along the *X*-axis; *b* — of rotational motion relative to the *Y*-axis from the action of a_x

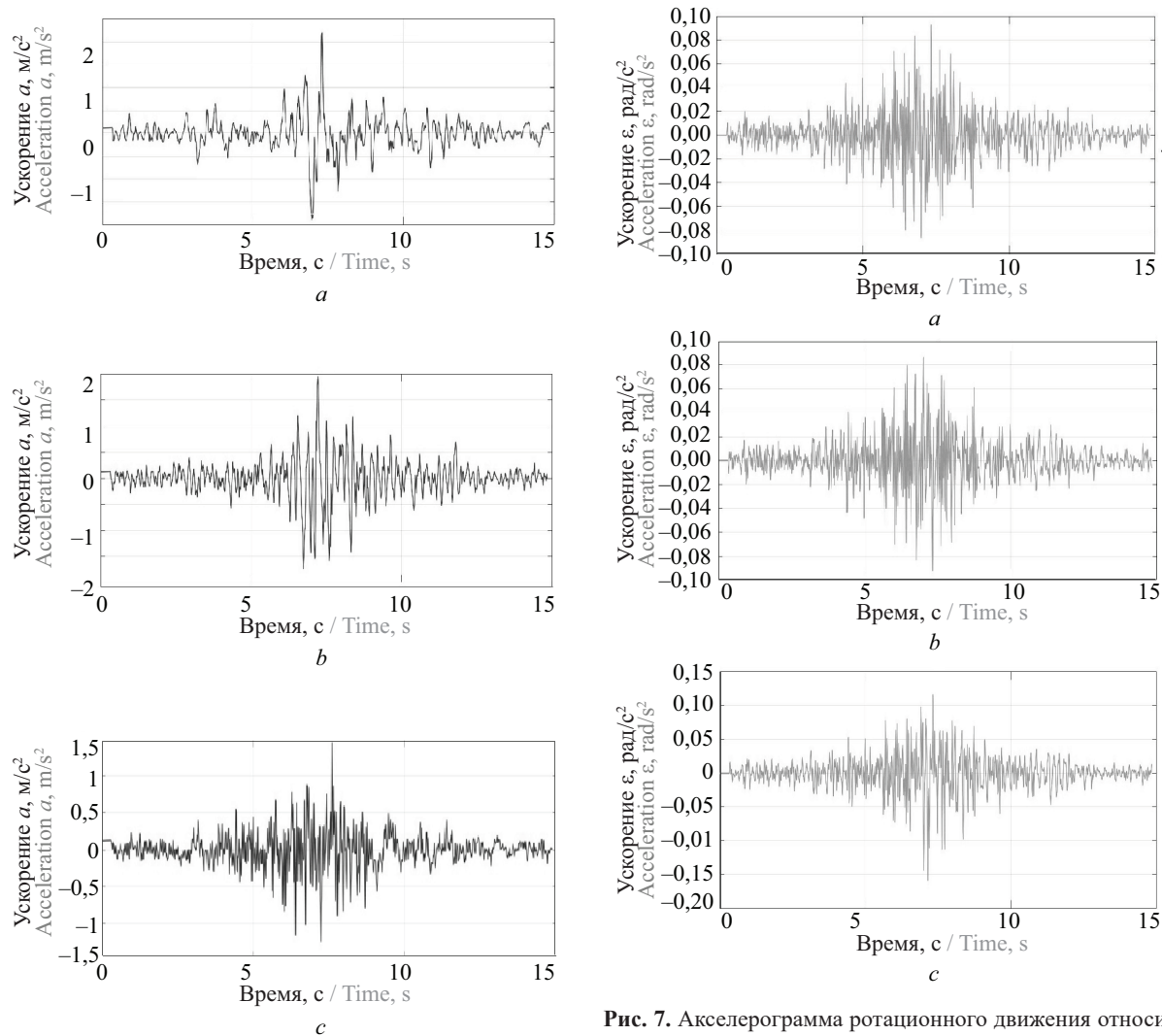


Рис. 6. Акселерограмма поступательного движения вдоль оси: *a* — *X*; *b* — *Y*; *c* — *Z*

Fig. 6. Accelerogram of translational motion along the: *a* — *X*-axis; *b* — *Y*-axis; *c* — *Z*-axis

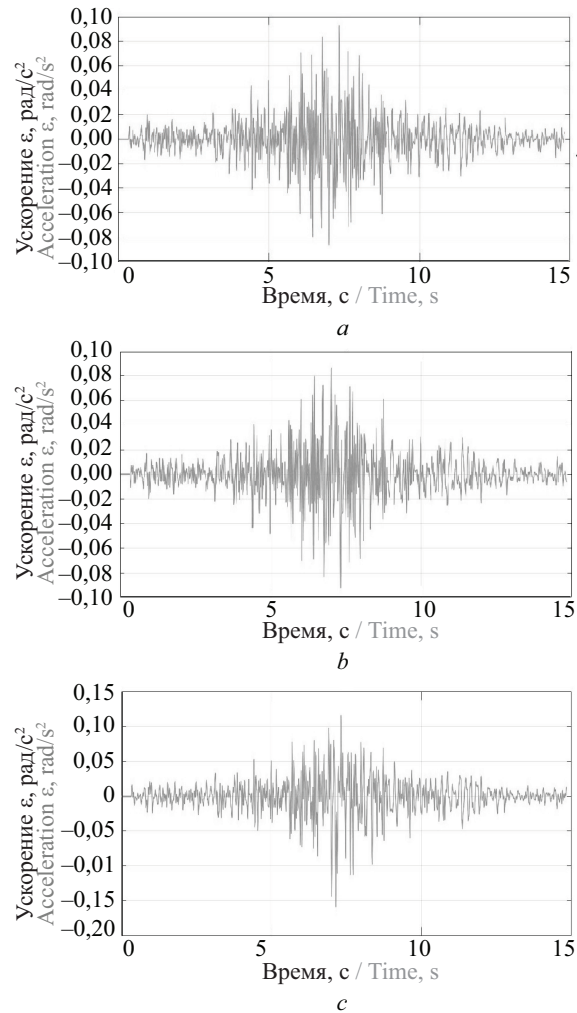


Рис. 7. Акселерограмма ротационного движения относительно оси: *a* — *X* от действия a_y, a_z ; *b* — *Y* от действия a_x, a_z ; *c* — *Z* от действия a_y, a_x

Fig. 7. Accelerogram of rotational motion relative to the: *a* — *X*-axis from the action a_y, a_z ; *b* — *Y*-axis from the action of a_x, a_z ; *c* — *Z*-axis from the action a_y, a_x

хания $\nu = 0,05$ от критического и модулем упругости $E = 3 \cdot 10^{10}$ Па.

Рассмотрим воздействие поступательного ускорения вдоль оси X основания данного стержня и сравним с одновременным воздействием поступательно-го и ротационного ускорения.

Решим данную задачу в двух ПК: методом Рунге – Кутты четвертого порядка в ПК MATLAB и методом центральных разностей в ПК LS-DYNA.

На рис. 4 представлена расчетная стержневая модель одномассовой системы, где для моделирования стержня использовались конечные элементы (КЭ) типа BEAM, заданный тип материала — Elastic.

Моделирование ускорения основания производилось при помощи функции, задающей вынужденное ускорение узла, `BOUNDARY_PRESCRIBED_MOTION_NODE`. Демпфирование задавалось функцией `DAMPING_FREQUENCY_RANGE_DEFORM`, которая моделирует демпфирование пропорционально скорости деформации.

В качестве ускорений использованы поступательная акселерограмма (рис. 5, *a*) и полученная по интегральной модели от действия одной поступательной компоненты акселерограмма ротационного воздействия (рис. 5, *b*).

Решим задачу с теми же исходными данными, но для сравнения рассмотрим воздействие от трех поступательных компонент сейсмического воздействия с шестью, где три поступательные и три ротационные соответственно. В качестве акселерограмм поступательных компонент в данной задаче выступают диаграммы, отраженные на рис. 6, а акселерограмм ротационной компоненты на рис. 7.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты исследования для плоской постановки задачи приведены на рис. 8 и в табл. 1–3.

Результаты исследования для пространственной постановки задачи приведены на рис. 9, 10 и в табл. 4.

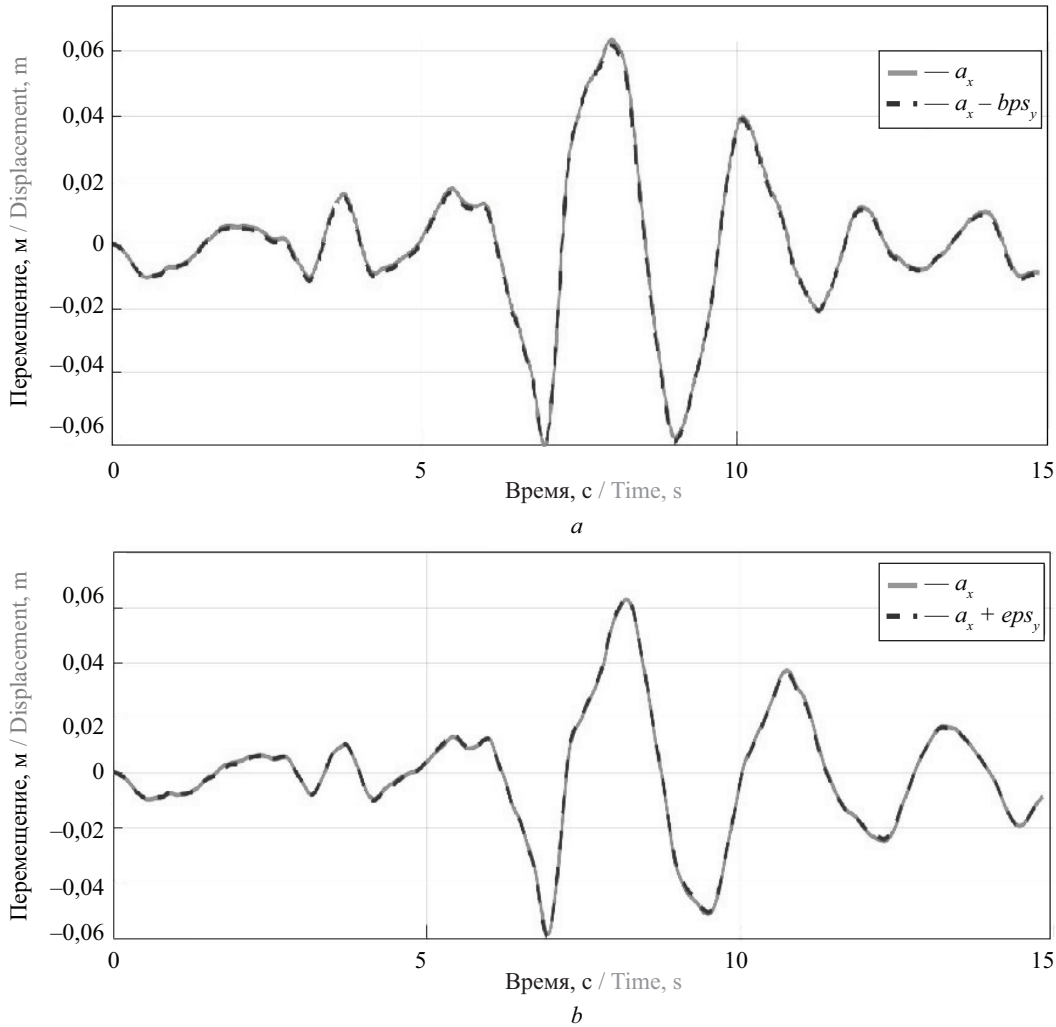


Рис. 8. Графическое сопоставление значений перемещений вдоль оси X верхней точки одномассовой системы: *a* — из LS-DYNA; *b* — из MATLAB; *c, d* — от a_x и из LS-DYNA и MATLAB

Fig. 8. Graphical comparison of the values of displacements along the X -axis of the upper point of a single-mass system: *a* — from LS-DYNA; *b* — from MATLAB; *c, d* — from a_x and from LS-DYNA and MATLAB

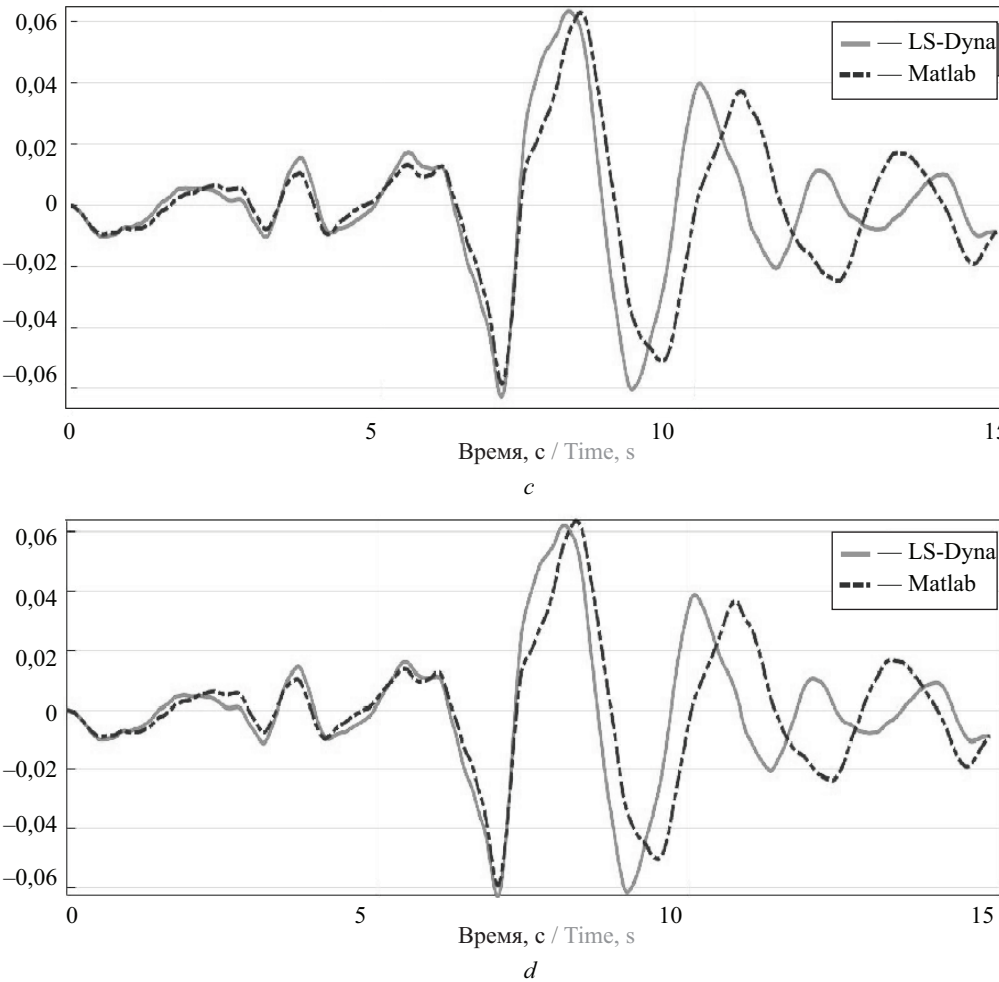


Рис. 8. Графическое сопоставление значений перемещений вдоль оси X верхней точки одномассовой системы: a — из LS-DYNA; b — из MATLAB; c, d — от a_x из LS-DYNA и MATLAB (окончание)

Fig. 8. Graphical comparison of the values of displacements along the X -axis of the upper point of a single-mass system: a — from LS-DYNA; b — from MATLAB; c, d — from a_x and from LS-DYNA and MATLAB (ending)

Табл. 1. Максимальные и минимальные значения перемещений u_x от действия поступательной компоненты a_x

Table 1. Maximum and minimum values of u_x displacements from the action of the translational component a_x

ПК / PC	$u_x^{\max}$, м / m	$u_x^{\min}$, м / m
MATLAB	$6,30 \cdot 10^{-2}$	$-5,84 \cdot 10^{-2}$
LS-DYNA	$6,34 \cdot 10^{-2}$	$-6,27 \cdot 10^{-2}$
Разница, % Difference, %	0,63	6,86

Табл. 2. Максимальные и минимальные значения перемещений u_x от совместного действия a_x и ε_y

Table 2. Maximum and minimum values of u_x displacements from the joint action of a_x and ε_y

ПК / PC	$u_x^{\max}$, м / m	$u_x^{\min}$, м / m
MATLAB	$6,37 \cdot 10^{-2}$	$-5,91 \cdot 10^{-2}$
LS-DYNA	$6,20 \cdot 10^{-2}$	$-6,27 \cdot 10^{-2}$
Разница, % Difference, %	2,74	5,74

Табл. 3. Сравнение максимальных и минимальных значений перемещений от учета ε_y

Table 3. Comparison of the maximum and minimum values of displacements from accounting for ε_y

ПК / PC	Значения перемещений Displacement values	От a_x From a_x	От $a_x + \varepsilon_y$ From $a_x + \varepsilon_y$	Разница, % Difference, %
MATLAB	$u_x^{\max}$, м / m	$6,30 \cdot 10^{-2}$	$6,37 \cdot 10^{-2}$	1,10
	$u_x^{\min}$, м / m	$-5,84 \cdot 10^{-2}$	$-5,91 \cdot 10^{-2}$	1,18
LS-DYNA	$u_x^{\max}$, м / m	$6,34 \cdot 10^{-2}$	$6,20 \cdot 10^{-2}$	2,26
	$u_x^{\min}$, м / m	$-6,27 \cdot 10^{-2}$	$-6,27 \cdot 10^{-2}$	0,00

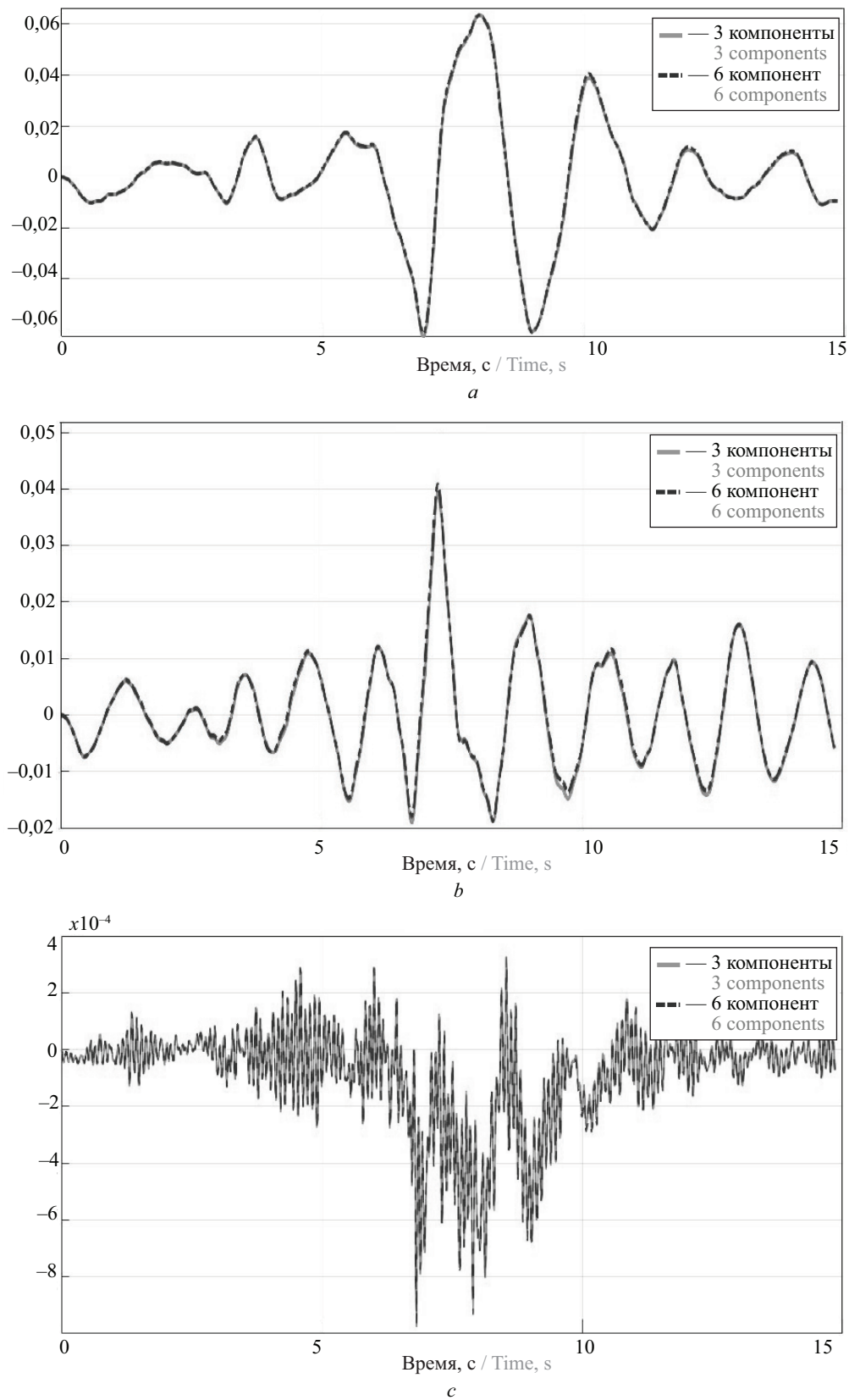


Рис. 9. Графическое сопоставление значений перемещений вдоль оси: *a* — *X* верхней точки одномассовой системы из LS-DYNA; *b* — *Y* верхней точки одномассовой системы из LS-DYNA; *c* — *Z* верхней точки одномассовой системы из LS-DYNA

Fig. 9. Graphical comparison of the values of displacements along the: *a* — *X*-axis of the upper point of a single-mass system from LS-DYNA; *b* — *Y*-axis of the upper point of a single-mass system from LS-DYNA; *c* — *Z*-axis of the upper point of a single-mass system from LS-DYNA

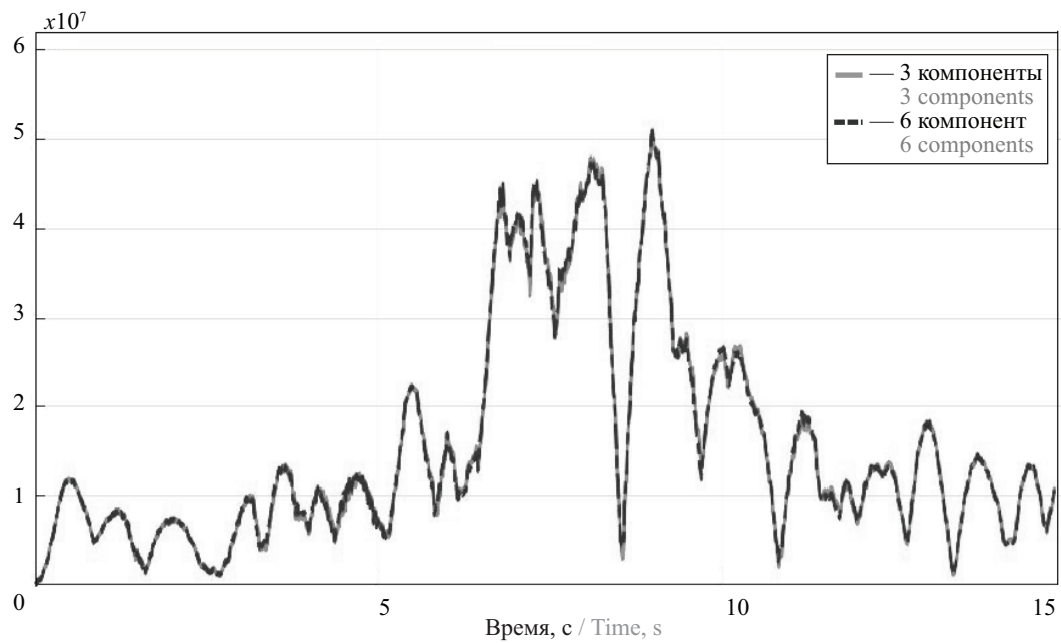


Рис. 10. Графическое сопоставление напряжений по Мизесу нижнего КЭ одномассовой системы из LS-DYNA
Fig. 10. Graphical comparison of the stresses according to the Mises of the lower KE of a single-mass system from LS-DYNA

Табл. 4. Сравнение результатов от трех- и шестикомпонентного сейсмического воздействия
Table 4. Comparison of results from three- and six-component seismic impact

Значения перемещений Displacement values	3 компонента 3 components	6 компонент 6 components	Разница, % Difference, %
u_x^{max} , м / m	$6,34 \cdot 10^{-2}$	$6,34 \cdot 10^{-2}$	0,00
u_x^{min} , м / m	$-6,27 \cdot 10^{-2}$	$-6,15 \cdot 10^{-2}$	1,95
u_y^{max} , м / m	$3,94 \cdot 10^{-2}$	$4,07 \cdot 10^{-2}$	3,19
u_y^{min} , м / m	$1,89 \cdot 10^{-2}$	$1,86 \cdot 10^{-2}$	1,59
u_z^{max} , м / m	$3,29 \cdot 10^{-4}$	$3,24 \cdot 10^{-4}$	1,52
u_z^{min} , м / m	$-9,76 \cdot 10^{-4}$	$-9,64 \cdot 10^{-4}$	1,24
σ_M^{max} , Па / Pa	$5,07 \cdot 10^7$	$5,08 \cdot 10^7$	0,19

Задача с одномассовой системой в плоской постановке была решена в двух ПК: методом центральных разностей в LS-DYNA и методом Рунге – Кутта четвертого порядка в MATLAB. Решение задачи в пространственной постановке произведено в ПК LS-DYNA. Как видно по графикам на рис. 8, с, d и табл. 1, 2, полученные значения перемещений в двух комплексах имеют незначительные отличия, что говорит о правильной постановке задачи. На основании графиков на рис. 8–10, данных табл. 3, 4 можно заключить, что воздействие ротационной компоненты сейсмического воздействия на НДС одномассовой системы незначительно и имеет порядок сотых долей разницы. Однако, исходя из уравнения (22), можно сделать вывод, что рост вклада ротационной компоненты в НДС системы пропорционален ее высоте.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

В данной работе были получены ротационные компоненты акселерограмм по интегральной модели как от действия одной поступательной компоненты, так и от действия двух поступательных компонент. Задача с одномассовой системой решена в плоской постановке в ПК LS-DYNA и MATLAB в двух постановках:

- с учетом воздействия одной поступательной компоненты;
- с учетом воздействия одной поступательной и одной ротационной компоненты.

Задача с одномассовой системой также решена в пространственной постановке в ПК LS-DYNA в двух постановках:

- с учетом трех поступательных компонент;
- с учетом трех поступательных и трех ротационных компонент.

Для рассмотренной в исследовании системы учет ротационных компонент сейсмического воздействия приводит к уменьшению горизонтальных перемещений до 1,95 %, увеличению вертикаль-

ных перемещений до 3,19 % и к росту напряжений на 0,19 %. Таким образом, можно сделать вывод, что учет ротационных компонент не вносит ощутимого вклада в НДС рассмотренной системы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Назаров Ю.П. Разработка методов расчета сооружений как пространственных систем на сейсмическое воздействие : дис. ... д-ра техн. наук. М., 1999. 452 с.
2. Бондарев Д.Е. Метод расчета сейсмоизолированных зданий на ротационные воздействия, вызванные землетрясением : дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2019. 202 с.
3. Позняк Е.В. Развитие методов волновой теории сейсмостойкости строительных конструкций : дис. ... д-ра техн. наук. М., 2018. 281 с.
4. Cacciola P. A stochastic approach for generating spectrum compatible fully nonstationary earthquakes // Computers & Structures. 2010. Vol. 88. Issue 15–16. Pp. 889–901. DOI: 10.1016/j.compstruc.2010.04.009
5. Ghaffarzadeh H. Generation of spatially varying ground motion based on response spectrum using artificial neural networks // International Journal of Science and Engineering Investigations. 2015. Vol. 4. Issue 38. Pp. 233–242.
6. Rezaeian S., Der Kiureghian A. Simulation of synthetic ground motions for specified earthquake and site characteristics // Earthquake Engineering & Structural Dynamics. 2010. Vol. 39. Issue 10. Pp. 1155–1180. DOI: 10.1002/eqe.997
7. Wolf J.P. Dynamic Soil-Structure Interaction. N. J. : Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1985. 481 p.
8. Chopra A.K. Dynamics of structures: Theory and applications to earthquake engineering. Prentice Hall, 1995. 761 p.
9. Abbasiverki R., Malm R., Ansell A., Nordstrom E. Nonlinear behaviour of concrete buttress dams under high-frequency excitations taking into account topographical amplifications // Shock and Vibration. 2021. Vol. 2021. Pp. 1–22. DOI: 10.1155/2021/4944682
10. Løkke A., Chopra A. Direct-finite-element method for nonlinear earthquake analysis of concrete dams including dam–water–foundation rock interaction // PEER Reports. 2019. DOI: 10.55461/crjy2161
11. Назаров Ю.П., Позняк Е.В. Оценка ротационных компонент сейсмического движения грунта // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2015. № 6. С. 32–36. EDN VTLCRJ.
12. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля. М. : Наука, 1967. 460 с.
13. Мкртычев О.В., Райзер В.Д. Теория надежности в проектировании строительных конструкций : монография. М. : Изд-во АСВ, 2016. 906 с. EDN ZCWYKL.
14. Мкртычев О.В., Решетов А.А. Сейсмические нагрузки при расчете зданий и сооружений : монография. М. : Изд-во АСВ, 2017. 140 с. EDN ZCWVMR.
15. Reshetov A.A., Lokhova E.M. Assessment of the influence of the rotational components of seismic action on the SSS of a multistorey reinforced concrete building // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2022. Vol. 18. Issue 1. Pp. 82–91. DOI: 10.22337/2587-9618-2022-18-1-82-91
16. De la Llera J.C., Chopra A.K. Accidental torsion in buildings due to base rotational excitation // Earthquake Engineering and Structural Dynamics. 1994. Vol. 23. Issue 9. Pp. 1003–1021. DOI: 10.1002/eqe.4290230906
17. Newmark N.M. A method of computation for structural dynamics // Journal of the Engineering Mechanics Division. 1959. Vol. 85. Issue 3. Pp. 67–94. DOI: 10.1061/jmcea3.0000098
18. Clough R.W., Penzien J. Dynamics of structures. 2nd ed. New York : McGraw-Hill, 1993. 320 p.
19. Basu D., Whittaker A.S., Constantinou M.C. Estimating rotational components of ground motion using data recorded at a single station // Journal of Engineering Mechanics. 2012. Vol. 138. Issue 9. Pp. 1141–1156. DOI: 10.1061/(asce)em.1943-7889.0000408
20. Luco J.E. Torsional response of structures to obliquely incident seismic sh waves // Earthquake Engineering and Structural Dynamics. 1976. Vol. 4. Issue 3. Pp. 207–219. DOI: 10.1002/eqe.4290040302
21. González C.A. R., Caparrós-Mancera J.J., Hernández-Torres J.A., Rodríguez-Pérez Á.M. Nonlinear analysis of rotational springs to model semi-rigid frames // Entropy. 2022. Vol. 24. Issue 7. P. 953. DOI: 10.3390/e24070953
22. Valente M., Milani G. Alternative retrofitting strategies to prevent the failure of an under-designed reinforced concrete frame // Engineering Failure Analysis. 2018. Vol. 89. Pp. 271–285. DOI: 10.1016/j.eng-failanal.2018.02.001
23. Bolisetti C., Coleman J. Light water reactor sustainability program advanced seismic soil structure modeling. Idaho National Laboratory, Idaho Falls, Idaho, 2015.
24. Bielak J. Domain reduction method for three-dimensional earthquake modeling in localized regions, Part I: Theory // Bulletin of the Seismological Society of America. 2003. Vol. 93. Issue 2. Pp. 817–824. DOI: 10.1785/0120010251

Поступила в редакцию 28 августа 2023 г.

Принята в доработанном виде 6 сентября 2023 г.

Одобрена для публикации 14 ноября 2023 г.

ОБ АВТОРАХ: **Олег Вартанович Мкртычев** — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой сопротивления материалов, директор НИЦ «Надежность и сейсмостойкость сооружений»; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 386561, Scopus: 56449249100, ResearcherID: Q-2370-2017, ORCID: 0000-0002-2828-3693; mkrtychev@yandex.ru;

Андрей Александрович Решетов — кандидат технических наук, научный сотрудник НИЦ «Надежность и сейсмостойкость сооружений»; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; Scopus: 57197187290, ORCID: 0000-0002-8267-2665; elm97@mail.ru;

Екатерина Михайловна Лохова — аспирант, инженер НИЦ «Надежность и сейсмостойкость сооружений»; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 3530-6216, ORCID: 0000-0001-8988-4516; elm97@mail.ru.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Nazarov Yu.P. *Development of methods for calculating structures as spatial systems for seismic impact : dis. ... doct. technical sciences.* Moscow, 1999; 452. (rus.).
2. Bondarev D.E. *Method of calculating seismically insulated buildings for rotational impacts caused by an earthquake : dis. ... candidate of technical sciences.* St. Petersburg, 2019; 202. (rus.).
3. Poznyak E.V. *Development of methods of the wave theory of seismic resistance of building structures : dis. ... doct. technical sciences.* Moscow, 2018; 281. (rus.).
4. Cacciola P. A stochastic approach for generating spectrum compatible fully nonstationary earthquakes. *Computers & Structures*. 2010; 88(15-16):889-901. DOI: 10.1016/j.compstruc.2010.04.009
5. Ghaffarzadeh H. Generation of spatially varying ground motion based on response spectrum using artificial neural networks. *International Journal of Science and Engineering Investigations*. 2015; 4(38):233-242.
6. Rezaeian S., Der Kiureghian A. Simulation of synthetic ground motions for specified earthquake and site characteristics. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*. 2010; 39(10):1155-1180. DOI: 10.1002/eqe.997
7. Wolf J.P. *Dynamic Soil-Structure Interaction.* N. J., Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1985; 481.
8. Chopra A.K. *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering.* Prentice Hall, 1995; 761.
9. Abbasiverki R., Malm R., Ansell A., Nordstrom E. Nonlinear behaviour of concrete buttress dams under high-frequency excitations taking into account topographical amplifications. *Shock and Vibration*. 2021; 2021:1-22. DOI: 10.1155/2021/4944682
10. Løkke A., Chopra A. Direct-finite-element method for nonlinear earthquake analysis of concrete dams including dam–water–foundation rock interaction. *PEER Reports*. 2019. DOI: 10.55461/crjy2161
11. Nazarov Yu.P., Poznyak E.V. Estimate of rotational components of seismic ground motion. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2015; 6:32-36. EDN VTLCRJ. (rus.).
12. Landau L.D., Lifshits E.M. *Field theory.* Moscow, Nauka Publ., 1967; 460. (rus.).
13. Mkrtychev O.V., Raiser V.D. *Theory of reliability in the design of building structures.* Moscow, ASV Publishing House, 2016; 906. EDN ZCWYKL. (rus.).
14. Mkrtychev O.V., Reshetov A.A. *Seismic loads in the calculation of buildings and structures : monograph.* Moscow, ASV Publishing House, 2017; 140. EDN ZCWVMR. (rus.).
15. Reshetov A.A., Lokhova E.M. Assessment of the influence of the rotational components of seismic action on the SSS of a multistorey reinforced concrete building. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2022; 18(1):82-91. DOI: 10.22337/2587-9618-2022-18-1-82-91
16. De la Llera J.C., Chopra A.K. Accidental torsion in buildings due to base rotational excitation. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*. 1994; 23(9):1003-1021. DOI: 10.1002/eqe.4290230906
17. Newmark N.M. A method of computation for structural dynamics. *Journal of the Engineering Mechanics Division*. 1959; 85(3):67-94. DOI: 10.1061/jmceas.00000098
18. Clough R.W., Penzien J. *Dynamics of structures.* 2nd ed. New York, McGraw-Hill, 1993; 320.

19. Basu D., Whittaker A.S., Constantinou M.C. Estimating rotational components of ground motion using data recorded at a single station. *Journal of Engineering Mechanics*. 2012; 138(9):1141-1156. DOI: 10.1061/(asce)em.1943-7889.0000408
20. Luco J.E. Torsional response of structures to obliquely incident seismic sh waves. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*. 1976; 4(3):207-219. DOI: 10.1002/eqe.4290040302
21. González C.A. R., Caparrós-Mancera J.J., Hernández-Torres J.A., Rodríguez-Pérez Á.M. Non-linear analysis of rotational springs to model semi-rigid frames. *Entropy*. 2022; 24(7):953. DOI: 10.3390/e24070953
22. Valente M., Milani G. Alternative retrofitting strategies to prevent the failure of an under-designed reinforced concrete frame. *Engineering Failure Analysis*. 2018; 89:271-285. DOI: 10.1016/j.eng-failanal.2018.02.001
23. Bolisetti C., Coleman J. *Light Water Reactor Sustainability Program Advanced Seismic Soil Structure Modeling*. Idaho National Laboratory, Idaho Falls, Idaho, 2015.
24. Bielak J. Domain reduction method for three-dimensional earthquake modeling in localized regions, part i: theory. *Bulletin of the Seismological Society of America*. 2003; 93(2):817-824. DOI: 10.1785/0120010251

Received August 28, 2023.

Adopted in revised form on September 6, 2023.

Approved for publication on November 14, 2023.

B I O N O T E S : **Oleg V. Mkrtychev** — Doctor of Technical Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Strength of Materials, Director of the Research Center “Reliability and Seismic Resistance of Structures”; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 386561, Scopus: 56449249100, ResearcherID: Q-2370-2017, ORCID: 0000-0002-2828-3693; mkrtychev@yandex.ru;

Andrey A. Reshetov — Candidate of Technical Sciences, Researcher of the Research Center “Reliability and Seismic Resistance of Structures”; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; Scopus: 57197187290, ORCID: 0000-0002-8267-2665; elm97@mail.ru;

Ekaterina M. Lokhova — postgraduate student, engineer of the Research Center “Reliability and Seismic Resistance of Structures”; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 3530-6216, ORCID: 0000-0001-8988-4516; elm97@mail.ru.

Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the publication.

The authors declare no conflicts of interest.

БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 331.45

DOI: 10.22227/1997-0935.2024.1.67-76

Анализ эффективности затрат на мероприятия по охране труда

Елена Анатольевна Король, Евгений Николаевич Дегаев

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Строительство остается одним из самых опасных видов экономической деятельности. В процессе строительства рабочие сталкиваются с различными рисками, которые могут привести к травмам, включая падение с высоты, порезы от острых предметов, ушибы от падения тяжелых предметов и др. Показатели смертельного травматизма по отношению к 2021 г. выросли на 6,3 %. С точки зрения экономической составляющей строительная отрасль потеряла 92 373 человеко-дней. Цель исследования — анализ эффективности и достаточности затрат, направленных на охрану труда с 2002 по 2022 г.

Материалы и методы. На основе данных мониторинга и контроля Роструда и Социального фонда России, метода анализа затрат и выгод оценивается соотношение между расходами на охрану труда и полученными результатами по снижению производственного травматизма в строительной отрасли.

Результаты. На мероприятия по охране труда в 2022 г. израсходовано 33 347 096,1 тыс. рублей, из них 59,5 % потрачено на приобретение спецодежды, спецобуви и др., остальные средства направлены на реализацию мероприятий по охране труда. Отмечается ежегодное, начиная с 2002 г., увеличение расходов на мероприятия, направленные на охрану труда. Однако реальный рост затрат ниже, учитывая инфляцию. Наибольшая инфляция наблюдалась в 2002 г., наименьшая в 2017 г., в 2022 г. она составила 11,94 %. В абсолютном значении суммарная инфляция за 20 лет выросла на 185,3 %, при этом прогрессирующая инфляция составила 407,3 %.

Выводы. Анализ данных производственного травматизма за период с 2002 по 2022 г. не выявил тенденции к снижению несчастных случаев на производстве с 2020 г. Отдельные руководители предприятий не всегда уделяют должное внимание финансированию мер по обеспечению безопасности труда, что приводит к снижению уровня безопасности на рабочих местах. Это подтверждается данными Роструда, которые показывают, что в 27,6 % случаях причиной травматизма является неудовлетворительная организация работы. Недостаточное финансирование мер по охране труда подтверждается также результатами проверок. Техническими инспекторами в 2022 г. в целом по стране было зафиксировано свыше 4600 нарушений охраны труда и 22 500 не выполненных обязательств со стороны руководства предприятий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: травматизм, безопасность труда, несчастные случаи, средства индивидуальной защиты, техника безопасности, прогрессирующая инфляция, затраты на охрану труда

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Король Е.А., Дегаев Е.Н. Анализ эффективности затрат на мероприятия по охране труда // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19. Вып. 1. С. 67–76. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.1.67-76

Автор, ответственный за переписку: Евгений Николаевич Дегаев, DegaevEN@mgsu.ru.

Cost-effectiveness analysis of labour protection measures

Elena A. Korol', Evgeniy N. Degaev

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

ABSTRACT

Introduction. Construction remains one of the most dangerous economic activities. During construction, workers face various risks that can lead to injuries, including falls from a height, cuts from sharp objects, bruises from falling heavy objects, and others. Fatal injury rates increased by 6.3 % in relation to 2021. In terms of economic component, the construction industry lost 92,373 man-days. The purpose of the work is to analyze the effectiveness and sufficiency of costs aimed at labour protection from 2002 to 2022.

Materials and methods. Cost-benefit analysis method is used to estimate the ratio between labour protection costs and the results obtained in reducing occupational injuries in the construction industry. The analysis takes into account the costs associated with implementing labour protection measures and compares them to the outcomes achieved in terms of reducing occupational injuries.

Results. In 2022, 33,347,096.1 thousand rubles were spent on labour protection measures. Out of this amount, 59.5 % of all funds, or approximately 33,347,096.1 thousand rubles, were spent for the purchase of protective clothing, special footwear and other personal protective equipment. The remaining funds were directed towards the implementation of other labour protection measures.

There has been an annual increase in expenditures on labour protection measures since 2002. However, the real growth of cost is lower, taking into account inflation. The highest inflation was observed in 2002, the lowest in 2017, in 2022 was 11.94 %. In absolute terms, the total inflation over 20 years increased by 185.3 %, while progressive inflation amounted to 407.3 %.

Conclusions. The analysis of occupational injury data for the period from 2002 to 2022 did not reveal a trend towards a decrease in industrial accidents from 2020. Some employers do not allocate enough funds for labour protection measures, which leads to a decrease in the level of safety at workplaces. This is confirmed by Rostrud data, which show that in 27.6 % of cases, the cause of injuries is unsatisfactory organization of work. Insufficient financing of labour protection measures is confirmed by the results of inspections. So, technical inspectors in 2022 found more than 4,600 violations. According to these violations, about 1,500 submissions and prescriptions were drawn up. Thus, in 2022, technical inspectors in the whole country recorded more than 4,600 violations of labour protection and 22,500 unfulfilled obligations on the part of the management of enterprises.

KEYWORDS: injuries, occupational safety, accidents, personal protective equipment, safety equipment, progressive inflation, labour protection costs

FOR CITATION: Korol' E.A., Degaev E.N. Cost-effectiveness analysis of labour protection measures. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2024; 19(1):67-76. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.1.67-76 (rus.).

Corresponding author: Evgeniy N. Degaev, DegaevEN@mgssu.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Соблюдение требований безопасности и охраны труда является обязательным условием для любой организации, которая заботится о здоровье и благополучии своих сотрудников. Эти требования включают правила по охране труда и технике безопасности, которые должны соблюдаться всеми работниками. Также следует обеспечить работникам безопасные условия труда, предоставить им необходимые средства индивидуальной защиты и проводить регулярные проверки на соответствие требованиям безопасности и охраны труда. Основные проблемы в обеспечении требований безопасности и охраны труда связаны с недостаточной информированностью работников о своих правах и обязанностях, а также отсутствием мотивации у руководства предприятий для внедрения современных систем управления охраной труда. Кроме того, существуют трудности во взаимодействиях работников со специалистами по охране труда, особенно в регионах, также недостаточно финансирование мероприятий по охране труда работодателями [1–3].

Строительство остается наиболее травмоопасным видом экономической деятельности [1, 4]. Показатели смертельного травматизма по отношению к 2021 г. выросли на 6,3 %. С точки зрения экономической составляющей строительная отрасль потеряла 92373 человеко-дней. По данным Роструда, за 2022 г. всего было зафиксировано 5563 инцидента, из которых 1565 закончились смертельным исходом. Зарегистрирован 381 групповой инцидент, включая 296 случаев с летальным исходом. В строительной индустрии на 2022 г. насчитывалось 10750 предприятий. Из них в 869 организациях произошли несчастные случаи на производстве, что составляет 8,1 % от общего количества предприятий [5, 6].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основные методы по оценке затрат и мероприятий, направленных на обеспечение безопасности и охраны труда:

Анализ затрат и выгод. Этот метод сравнивает затраты на охрану труда с потенциальными выгода-

ми, такими как: снижение заболеваемости и травматизма, увеличение производительности и улучшение качества продукции.

Анализ эффективности затрат. Оценивает соотношение между затратами на охрану труда и полученными результатами. Результаты могут включать увеличение производительности, снижение заболеваемости и улучшение условий труда.

Оценка рисков. Метод используется для определения потенциальных опасностей и рисков на рабочем месте и разработки мер по их минимизации.

Аудит охраны труда. Аудит может проводиться внутренними или внешними специалистами, его цель — проверить соответствие системы охраны труда установленным стандартам и нормам.

Опросы и исследования. Могут помочь определить уровень удовлетворенности работников условиями труда и их мнение о мерах, принятых для улучшения безопасности и здоровья на рабочем месте.

Мониторинг и контроль. Этот метод включает регулярный мониторинг и контроль за соблюдением требований охраны труда, а также проведение проверок и инспекций.

Экономический анализ. Метод использует экономические показатели, такие как стоимость предотвращенного ущерба и стоимость снижения риска, для оценки эффективности затрат на охрану труда [7–11].

В настоящей работе проведен анализ эффективности затрат, направленных на мероприятия по охране труда в строительной отрасли по данным мониторинга и контроля Роструда и Социального фонда России (СФР).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

По результатам проверок, проведенных Рострудом^{1, 2} в 2022 г., выявлено более 12 000 нарушений в сфере охраны труда, 437 из которых связаны с расследованием, документированием и учетом произ-

¹ Результаты мониторинга условий и охраны труда в Российской Федерации в 2022 году // Министерство труда и социальной защиты Российской Федерации. М., 2022.

² Отчет о деятельности Федеральной службы по труду и занятости и ее территориальных органов в 2022 году.

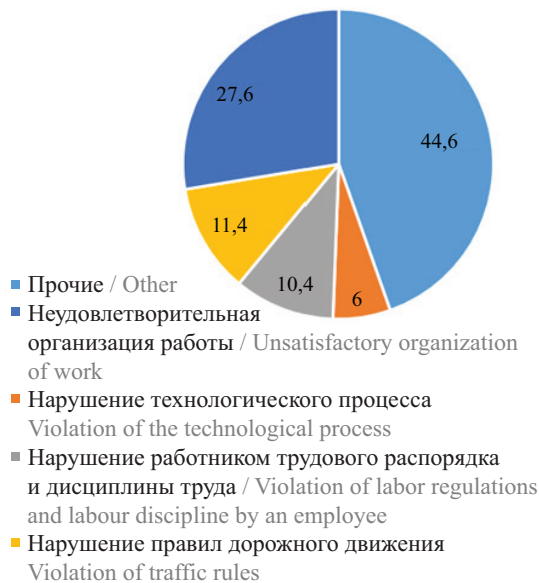


Рис. 1. Нарушения, повлекшие тяжелые последствия от несчастных случаев по данным Роструда

Fig. 1. Violations that caused severe consequences from accidents according to Rostруд

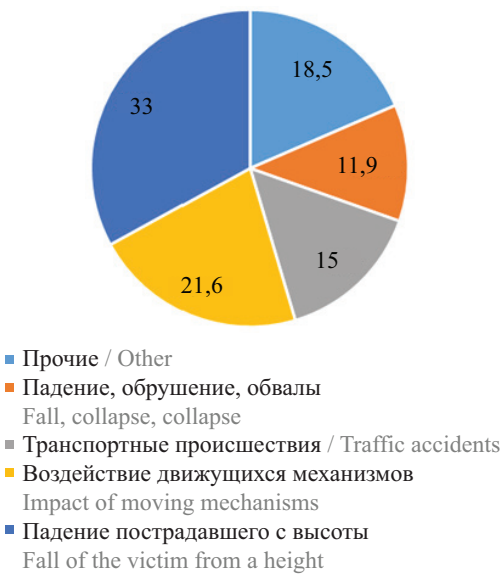


Рис. 2. Классификация типов несчастных случаев на производстве

Fig. 2. Classification of types of industrial accidents

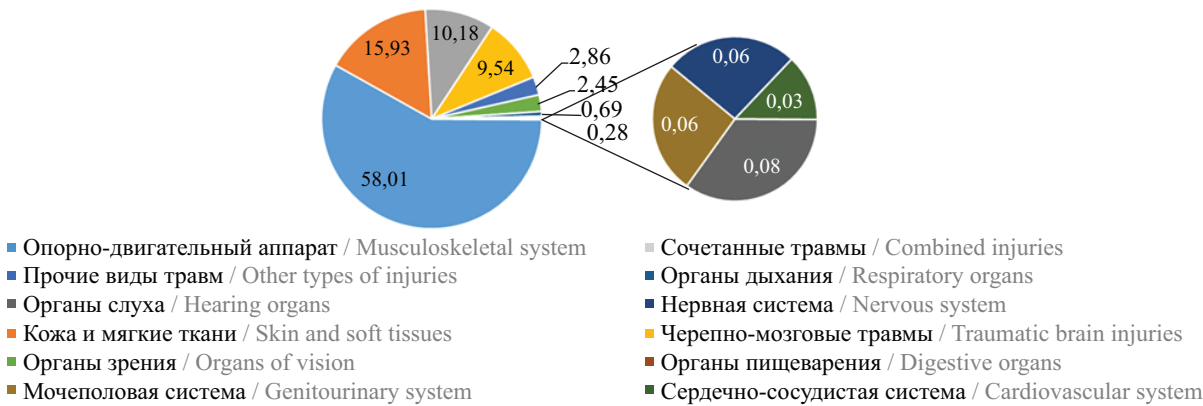


Рис. 3. Классификация производственных несчастных случаев по видам полученных травм

Fig. 3. Classification of industrial accidents by types of injuries

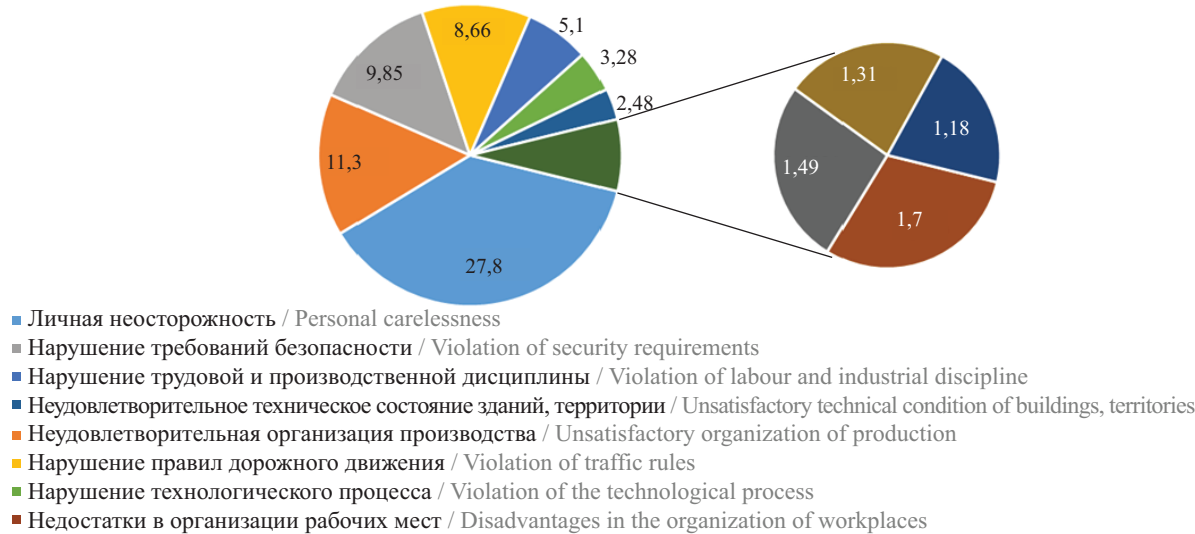


Рис. 4. Причины возникновения несчастных случаев (данные СФР)

Fig. 4. Causes of accidents (SFR data)

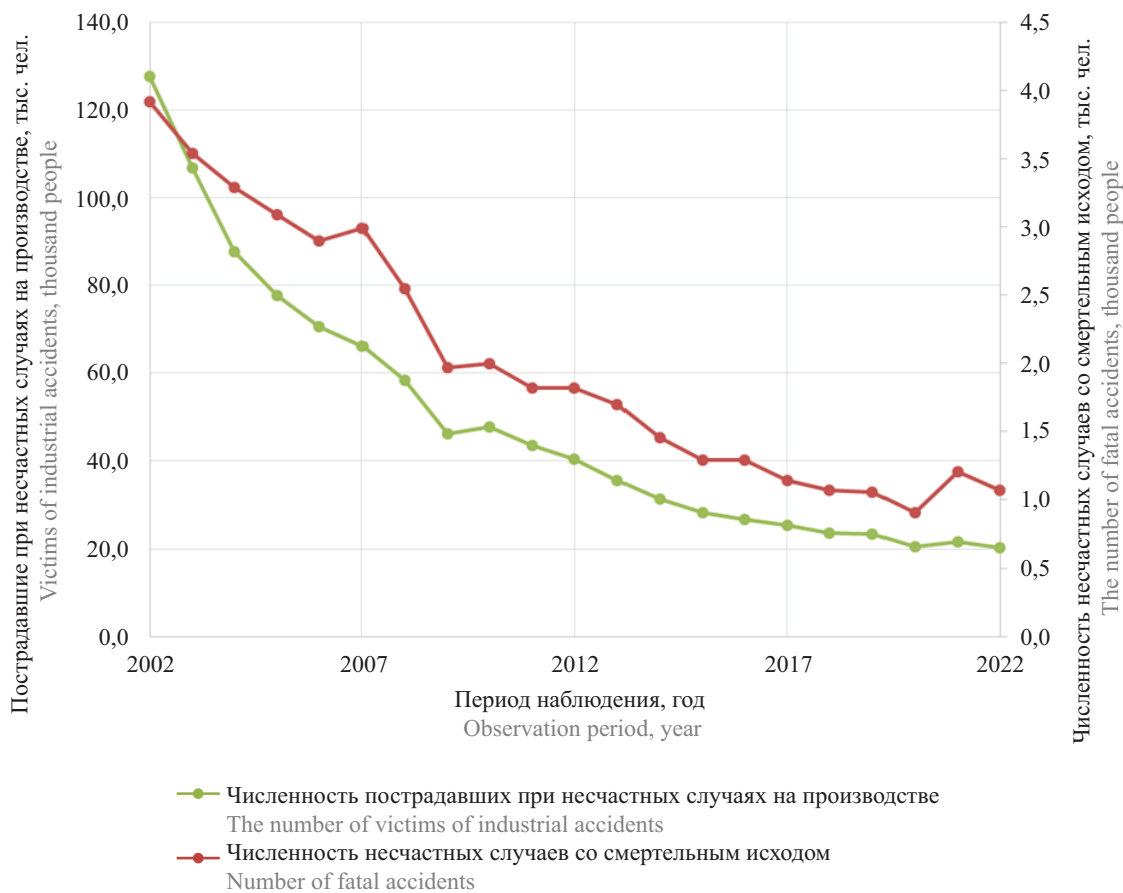


Рис. 5. Динамика производственного травматизма с 2002 по 2022 г.

Fig. 5. Dynamics of Occupational Injuries (2002–2022)

водственных травм. Обнаружено также 626 случаев сокрытия производственных травм, 154 из которых закончились смертельным исходом, что в 1,33 раза больше, чем в 2021 г. По информации Роструда, главной причиной серьезных последствий производственного травматизма является неудовлетворительная организация работы — на этот фактор приходится 27,6 % всех причин (рис. 1). Самый высокий показатель производственных травм наблюдается при падении рабочих с высоты, что на 9 % выше показателя прошлого года и составляет 33 % от общей структуры причин (рис. 2).

Между тем по причине воздействия движущихся механизмов произошло на 2,4 % меньше несчастных случаев, чем в 2021 г. По остальным причинам наблюдается незначительное увеличение в пределах 0,5–1 %. Столь стремительное увеличение несчастных случаев связано с тем, что строительная отрасль продолжает уверенный рост [12–16]. В 2022 г. в России было построено 1 290 000 новых квартир общей площадью 102,7 млн м². Это на 11,0 % больше, чем в предыдущем году³.

Полученные травмы на производстве коррелируют с увеличением несчастных случаев при паде-

нии с высоты. Так, в 2022 г. 58 % всех травм приходится на опорно-двигательный аппарат (рис. 3).

В СФР⁴ отмечают, что основной причиной несчастных случаев является личная неосторожность, а неудовлетворительная организация производства занимает вторую позицию (рис. 4).

В 2022 г. технические инспекторы труда провели на 10,3 % меньше проверок предприятий, чем в 2021 г. Количество выявленных нарушений также уменьшилось с 37 900 в 2021 г. до 32 000 в 2022 г. Число направленных работодателям представлений и предписаний выросло с 11 500 до более 12 000 [5, 6]. Сокращение количества проверок можно связать со снижением производственного травматизма по отношению к 2021 г. (рис. 5), однако это все равно больше минимальных показателей, которые были зафиксированы в 2020 г. В целом динамика производственного травматизма с 2002 по 2022 г. отражает сочетание изменений в законодательстве и технологической модернизации отраслей экономики.

В строительной отрасли численность пострадавших с утратой трудоспособности на 1 рабочий день и более и со смертельным исходом составила

³ О жилищном строительстве в Российской Федерации в 2022 году // Росстат.

⁴ Информация о работе технической инспекции труда профсоюзов в 2022 году // Техническая инспекция труда ФНПР. 2023 г.

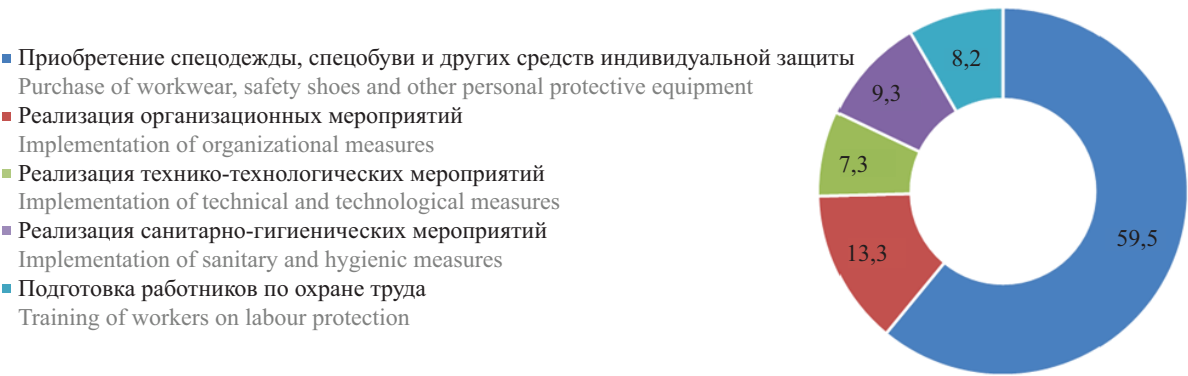


Рис. 6. Затраты, направленные на мероприятия по охране труда

Fig. 6. Distribution of funds spent on labour protection measures

1843 чел., численность пострадавших при несчастных случаях на производстве со смертельным исходом — 171 чел., при этом более 50 чел. находились в состоянии алкогольного или наркотического опьянения.

На мероприятия по охране труда в 2022 г. было израсходовано 33347096,1 тыс. руб., из них 59,5 % всех средств потрачено на приобретение спецодежды, спецобуви и других средств индивидуальной защиты, остальные средства были направлены на реализацию мероприятий по охране труда (рис. 6).

Отмечается практически ежегодное, начиная с 2002 г., увеличение расходов на мероприятия, направленные на охрану труда. Однако реальный рост затрат будет ниже, если учесть инфляцию (рис. 7). Наибольшая инфляция наблюдалась в 2002 г., наименьшая — в 2017 г., в 2022 г. она составила

11,94 %. В абсолютном значении суммарная инфляция за 20 лет выросла на 185,3 %.

Так, в 2022 г. израсходовано 21997 руб. на мероприятия по охране труда в расчете на одного работающего, что на 1206,7 % больше, чем в 2002 г. (рис. 8). Принимая во внимание прогрессирующую инфляцию, которая на 2022 г. составила 407,3 % по отношению покупательской способности в 2002 г., реальный рост затрат на охрану труда составил 799,4 %.

Анализ затрат с учетом прогрессирующей инфляции показал, что до 2018 г. затраты на охрану труда росли медленнее, чем инфляция. А в 2003 и 2004 гг. увеличение затрат на охрану труда оказалось настолько незначительным, что с учетом инфляции рост затрат показал отрицательные значения. Это свидетельствует о том, что за выделенные средства на охрану

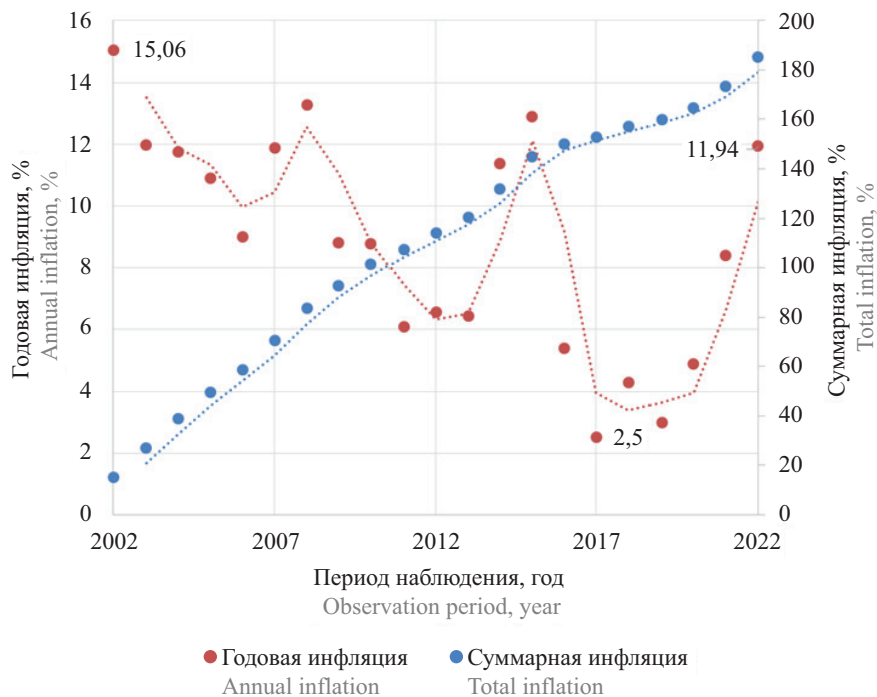


Рис. 7. Изменение инфляции в России в период с 2002 по 2022 г.

Fig. 7. Changes in inflation in Russia in the period from 2002 to 2022

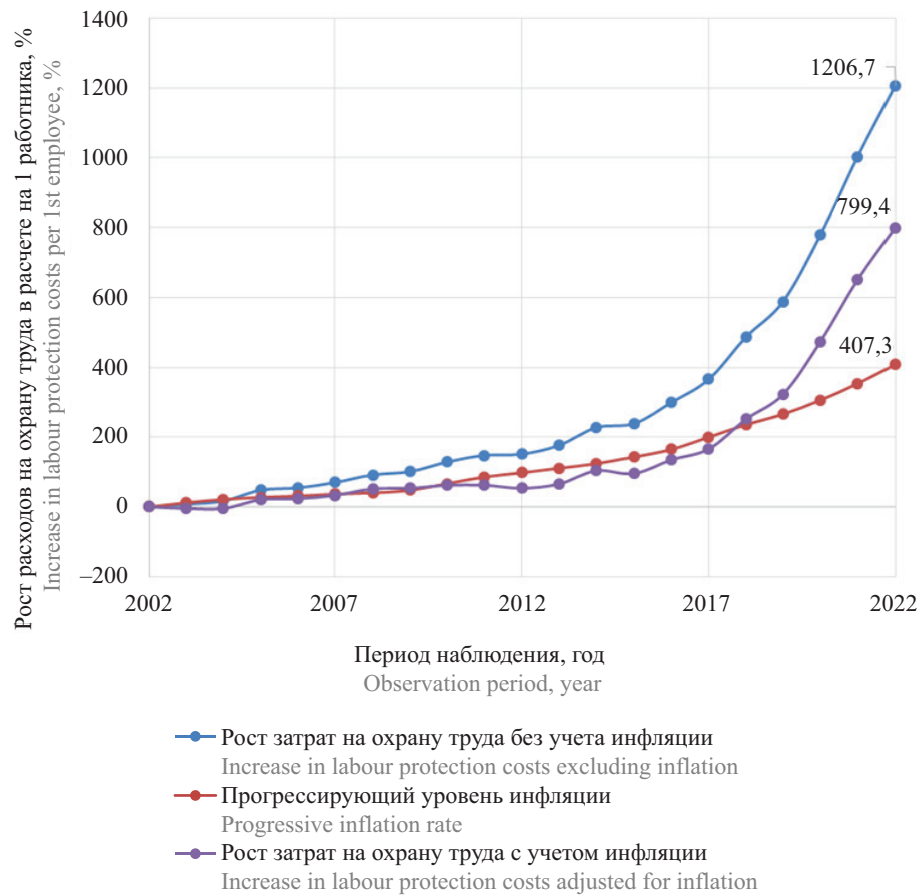


Рис. 8. Изменение затрат на охрану труда с 2002 по 2022 г.

Fig. 8. Change in labour protection costs from 2002 to 2022

труда строительные организации смогли реализовать на 4,5 % меньше мероприятий, чем в 2002 г. В период с 2005 по 2010 г. финансирование мероприятий охраны труда увеличилось, однако это также было недостаточно, чтобы перекрыть прогрессирующую инфляцию. С 2011 по 2017 г. была высокая инфляция, которая также не позволяет установить факт достаточности финансирования мероприятий по охране труда. И только с 2018 г. можно установить существенное увеличение затрат несмотря на то, что в 2021 и 2022 гг. зафиксирована высокая инфляция.

С учетом прогрессирующей инфляции и покупательской возможности затраты на мероприятия по охране труда на одного работника составили 8539,9 руб., что всего на 6855,9 руб. больше, чем в 2002 г. (рис. 9).

О недостаточности расходов на мероприятия по охране труда свидетельствуют проведенные проверки. В 2022 г. технические инспекторы выявили более 4600 нарушений, что привело к выдаче примерно 1500 предписаний. Из 22 500 обязательств, изложенных в коллективных договорах и соглашениях, около 1600 остались невыполненными. Направлено 756 требований о привлечении к ответственности ответственных лиц и виновных в нарушении трудового законодательства в области охраны труда с приостановкой производства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

В соответствии с трудовым законодательством⁵ работодатель обязан проводить мероприятия по улучшению условий и охраны труда, а также выделять необходимые средства на эти цели. Анализ данных производственного травматизма за период с 2002 по 2022 г. не выявил тенденции к снижению несчастных случаев на производстве с 2020 г. Некоторые работодатели недостаточно выделяют средств на мероприятия по охране труда, что приводит к снижению уровня безопасности на рабочих местах. Это подтверждается данными Роструда, которые показывают, что в 27,6 % случаях причиной травматизма является неудовлетворительная организация работы.

Недостаточное финансирование мер по охране труда подтверждается результатами проведенных проверок техническими инспекторами труда. Так, в 2022 г. было выявлено свыше 4,6 тыс. нарушений и выписано 1500, а около 7,1 % обязательств по коллективным договорам не выполняются работодателями.

Существенный рост затрат на мероприятия по охране труда с 2018 г. можно связать с многочисленными изменениями в трудовом законодательстве. Так, в 2018 г. в качестве решения проблемы «списочного»

⁵ Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ.

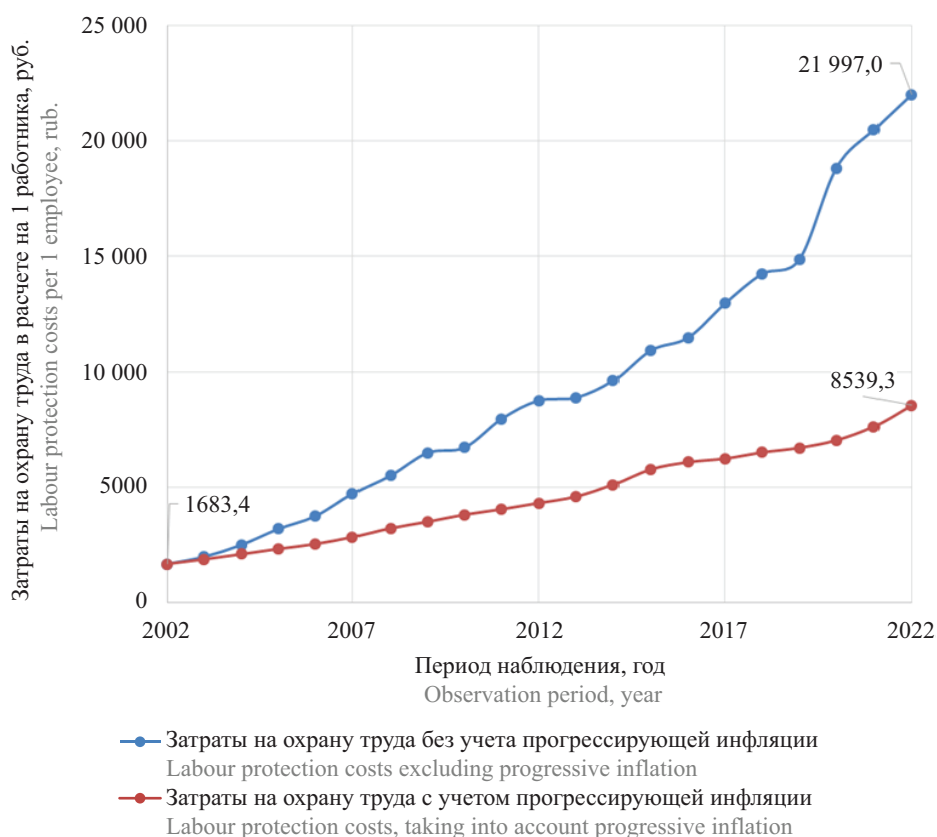


Рис. 9. Затраты, направленные на мероприятия по охране труда в период с 2002 по 2022 г.

Fig. 9. Costs for occupational safety measures in the period from 2002 to 2022

подхода в обеспечении работников средствами индивидуальной защиты предложено установить единые типовые нормы, которые учитывают все возможные вредные производственные факторы, опасности и загрязнения на конкретном рабочем месте. Также ужесточаются требования по инструктированию и обучению персонала требованиям безопасности

и охраны труда [17–20]. С 2018 г. затраты на охрану труда впервые превышают прогрессирующую инфляцию. Без учета инфляции затраты на мероприятия по охране труда на одного человека с 2002 г. выросли на 20313,6 руб. Однако в пересчете на покупательскую способность с учетом прогрессирующей инфляции затраты фактически увеличились только на 6855,9 руб.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Пушенко С.Л., Гапонов В.Л., Кукареко В.А. Анализ производственного травматизма в строительной индустрии и пути его снижения // Безопасность техногенных и природных систем. 2022. № 2. С. 24–30. DOI: 10.23947/2541-9129-2022-2-24-30. EDN IYBRVK.
2. Магомедова Н.З. Анализ причин производственного травматизма // Образование и наука в России и за рубежом. 2020. № 6 (70). С. 50–52. EDN VNAURO.
3. Saputri H. Legal protection of occupational safety and health for pharmacists of clinics in Semarang // Awang Long Law Review. 2022. Vol. 5. Issue 1. Pp. 205–214. DOI: 10.56301/awl.v5i1.565
4. Чумачева Н.М. Динамика производственного травматизма в строительной отрасли // Труды

Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин). 2017. Т. 20. № 1 (64). С. 70–79. EDN ZMIEIH.

5. Король Е.А., Дегаев Е.Н. Динамика снижения производственного травматизма // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. № 3. С. 438–446. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.3.438-446. EDN YZSTAN.
6. Дегаев Е.Н., Король Р.А., Плотников А.Д. Особенности снижения производственного травматизма в России и за рубежом // Строительство и архитектура. 2023. Т. 11. № 1. С. 25. DOI: 10.29039/2308-0191-2022-11-1-25-25. EDN QOAODS.
7. Лукьянченко Н.Д., Васильев А.С. Влияние охраны труда на эффективность использования трудового потенциала предприятия // Экономика стро-

ительства и городского хозяйства. 2021. Т. 17. № 3. С. 123–130. EDN ECIWXG.

8. Olyanyshen T.V., Storozhuk V.M., Yatsiuk R.A., Korzh H.I., Ratushniak Yu.V., Melnikov A.V. Multicriteria problem of evaluation of the enterprise labor protection management system efficiency // *Mathematical Modeling and Computing*. 2021. Vol. 8. Issue 2. Pp. 330–337. DOI: 10.23939/mmc2021.02.330

9. Tawiah T., Opoku A., Frimpong A., Hafiz B. An assessment of knowledge among healthcare professionals on occupational health hazards at New Abirem government hospital, Ghana // *Asian Journal of Medicine and Health*. 2022. Pp. 153–171. DOI: 10.9734/ajmah/2022/v20i1030516

10. Yiu N.S.N., Chan D.W.M., Shan M., Sze N.N. Implementation of safety management system in managing construction projects: Benefits and obstacles // *Safety Science*. 2019. Vol. 117. Pp. 23–32. DOI: 10.1016/j.ssci.2019.03.027

11. Jbeily A.H. Importance and effectiveness of different safety training methods and their application in iron ore pelletizing plants // *European Journal of Business and Management Research*. 2023. Vol. 8. Issue 1. Pp. 142–146. DOI: 10.24018/ejbmr.2023.8.1.1790

12. Сенченко В.А., Каверзнева Т.Т., Пушенко С.Л., Стасева Е.В. Совершенствование методики оценки неснижаемого запаса средств индивидуальной защиты для снижения класса (подкласса) условий труда работников // *Кадровик*. 2023. № 6. С. 77–85. EDN JWMWDJ.

13. Кузьмина О.В., Исакова А.К. Снижение уровня производственного травматизма в исследуемой организации // *Молодой ученый*. 2016. № 26 (130). С. 55–58. EDN XCHYDZ.

14. Suparna N.S., Ajeet Jaiswal. The occupational health and safety // *Anthropo-Indialogs*. 2021. Vol. 1. Issue 3. Pp. 261–269.

15. Стасева Е.В., Пушенко С.Л., Сенченко В.А. Новые подходы в организации обучения и проверки знаний требований безопасности и охраны труда // *Кадровик*. 2020. № 7. С. 107–112. EDN QQOJBO.

16. Mohd Isa M.F., Ab. Rahim N.Z., Fathi M.S., Mohd Yusoff R.C. Extending the occupational safety and health management system as a knowledge management system through the mixed-reality remote audit // *Knowledge Management in Organisations*. 2022. Pp. 270–278. DOI: 10.1007/978-3-031-07920-7_21

17. Сенченко В.А., Каверзнева Т.Т., Фетисов А.Г., Пушенко С.Л., Стасева Е.В. Оптимизация процесса планирования потребности в средствах индивидуальной защиты работающих на основе модели данных размерного ряда сотрудников // *Кадровик*. 2023. № 2. С. 92–99. EDN GSGAGG.

18. Yilmaz S. How to enhance occupational health and safety practices in schools: An analysis through the eyes of school principals // *International Journal of Psychology and Educational Studies*. 2022. Vol. 9. Pp. 922–933. DOI: 10.52380/ijpes.2022.9.4.871

19. Фомин А.И., Халявина М.Н., Осипова А.А. Исследование проблем производственного травматизма и профессиональной заболеваемости // *Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности*. 2017. № 4. С. 82–90. EDN ZXFNNF.

20. Iskandar I., Ryadinency R., Santi S., Zamli Z. Supervisory relationship with the use of personal protective equipment on employees // *International Journal Papier Public Review*. 2023. Vol. 4. Issue 2. Pp. 52–55. DOI: 10.47667/ijpr.v4i2.221

Поступила в редакцию 22 ноября 2023 г.

Принята в доработанном виде 27 ноября 2023 г.

Одобрена для публикации 5 декабря 2023 г.

ОБ АВТОРАХ: Елена Анатольевна Король — доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой жилищно-коммунального комплекса; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 678276, Scopus: 57197844794, ResearcherID: C-2635-2019; ORCID: 0000-0002-5019-3694; KorolEA@mgsu.ru;

Евгений Николаевич Дегаев — кандидат технических наук, доцент кафедры жилищно-коммунального комплекса; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 798266, Scopus: 57195225439, ResearcherID: S-1854-2018, ORCID: 0000-0001-6384-8277; DegaevEN@mgsu.ru.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Pushenko S.L., Gaponov V.L., Kukareko V.A. Analysis of occupational injuries in the construction industry and ways to reduce it. *Safety of Technogenic and Natural Systems*. 2022; 2:24-30. DOI: 10.23947/2541-9129-2022-2-24-30. EDN IYBRVK. (rus.).
2. Magomedova N.Z. Analysis of the causes of industrial injuries. *Education and Science in Russia and Abroad*. 2020; 6(70):50-52. EDN VNAURO. (rus.).
3. Saputri H. Legal protection of occupational safety and health for pharmacists of clinics in Semarang. *Awang Long Law Review*. 2022; 5(1):205-214. DOI: 10.56301/awl.v5i1.565
4. Chumacheva N.M. Dynamics of industrial injuries in the construction industry. *Proceedings of the Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin)*. 2017; 20(1):70-79. EDN ZMIEIH. (rus.).
5. Korol' E.A., Degaev E.N. Dynamics of decline in industrial injuries. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2023; 18(3):438-446. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.3.438-446. EDN YZSTAH. (rus.).
6. Degaev E., Korol R., Plotnikov A. Features of reducing industrial injuries in Russia and abroad. *Construction and Architecture*. 2023; 11(1):25. DOI: 10.29039/2308-0191-2022-11-1-25-25. EDN QOAODS. (rus.).
7. Lukyanchenko N., Vasylyev A. The influence of labor protection on the efficiency of use of the labor potential of the enterprise. *Economics of Civil Engineering and Municipal Economy*. 2021; 17(3):123-130. EDN ECIWXG. (rus.).
8. Olyanyshen T.V., Storozhuk V.M., Yatsiuk R.A., Korzh H.I., Ratushniak Yu.V., Melnikov A.V. Multicriteria problem of evaluation of the enterprise labor protection management system efficiency. *Mathematical Modeling and Computing*. 2021; 8(2):330-337. DOI 10.23939/mmc2021.02.330
9. Tawiah T., Opoku A., Frimpong A., Hafiz B. An assessment of knowledge among healthcare professionals on occupational health hazards at New Abirem Government Hospital, Ghana. *Asian Journal of Medicine and Health*. 2022; 153-171. DOI: 10.9734/ajmah/2022/v20i1030516
10. Yiu N.S.N., Chan D.W.M., Shan M., Sze N.N. Implementation of safety management system in managing construction projects: Benefits and obstacles. *Safety Science*. 2019; 117:23-32. DOI: 10.1016/j.ssci.2019.03.027
11. Jbeily A.H. Importance and effectiveness of different safety training methods and their application in iron ore pelletizing plants. *European Journal of Business and Management Research*. 2023; 8(1):142-146. DOI: 10.24018/ejbmr.2023.8.1.1790
12. Senchenko V.A., Kaverzneva T.T., Pushenko S.L., Staseva E.V. Improvement of the methodology for assessing the irreducible stock of personal protective equipment to reduce the class (subclass) of working conditions of employees. *Kadrovik*. 2023; 6:77-85. EDN JWMWDJ. (rus.).
13. Kuzmina O.V., Iskakova A.K. Reduction of the level of occupational injuries in the organization under study. *Young Scientist*. 2016; 26(130):55-58. EDN XCHYDZ. (rus.).
14. Suparna N.S., Ajeet Jaiswal. The occupational health and safety. *Anthropo-Indialogs*. 2021; 1(3):261-269.
15. Staseva E.V., Pushenko S.L., Senchenko V.A. New approaches to learning and knowledge testing safety and safety requirements. *Kadrovik*. 2020; 7:107-112. EDN QOQJBO. (rus.).
16. Mohd Isa M.F., Ab. Rahim N.Z., Fathi M.S., Mohd Yusoff R.C. Extending the occupational safety and health management system as a knowledge management system through the mixed-reality remote audit. *Knowledge Management in Organisations*. 2022; 270-278. DOI: 10.1007/978-3-031-07920-7_21
17. Senchenko V.A., Kaverzneva T.T., Fetisov A.G., Pushenko S.L., Staseva E.V. Optimizing the process of planning the demand for personal protective equipment for workers based on the data model of the size series of employees. *Kadrovik*. 2023; 2:92-99. EDN GSGAGG. (rus.).
18. Yılmaz S. How to enhance occupational health and safety practices in schools: An analysis through the eyes of school principals. *International Journal of Psychology and Educational Studies*. 2022; 9:922-933. DOI: 10.52380/ijpes.2022.9.4.871
19. Fomin A.I., Khalyavina M.N., Osipova A.A. Occupational injuries and occupational morbidity problems research. *Bulletin of the VostNII Scientific Center for Industrial and Environmental Safety*. 2017; 4:82-90. EDN ZXFNNF. (rus.).
20. Iskandar I., Ryadinency R., Santi S., Zamli Z. Supervisory Relationship with the Use of Personal Protective Equipment on Employees. *International Journal Public Review*. 2023; 4(2):52-55. DOI: 10.47667/ijppr.v4i2.221

Received November 22, 2023.

Adopted in revised form on November 27, 2023.

Approved for publication on December 5, 2023.

B I O N O T E S: **Elena A. Korol'** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Housing and Communal Complex; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);**

26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 678276, Scopus: 57197844794, ResearcherID: C-2635-2019, ORCID: 0000-0002-5019-3694; KorolEA@mgsu.ru;

Evgeniy N. Degaev — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Housing and Communal Complex; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 798266, Scopus: 57195225439, ResearcherID: S-1854-2018, ORCID: 0000-0001-6384-8277; DegaevEN@mgsu.ru.

Contribution of the authors: all authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare that they have no conflicts of interest.

Расчет остывания помещений здания в аварийных режимах при переменной температуре наружного воздуха

Олег Дмитриевич Самарин

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Дальнейшее развитие методов расчета теплового режима помещений при аварийных режимах работы систем теплоснабжения является актуальным. Цель исследования — поиск зависимости температуры воздуха в помещениях здания от времени в начальный период после аварии. В качестве научной гипотезы выдвигается положение о возможности выражения данной зависимости через экспоненциальные функции, использующие в качестве аргумента корень квадратный из времени с момента начала остывания.

Материалы и методы. Используется основное дифференциальное уравнение баланса конвективной теплоты в помещении, включающее наиболее существенные составляющие теплового потока, в предположении линейного характера понижения наружной температуры с течением времени при учете особенностей распространения температурной волны в массивных ограждениях в начальный период времени. Применяется метод Бернулли для линейного дифференциального уравнения первого порядка с помощью представления решения в виде произведения двух функций.

Результаты. Найдено аналитическое выражение для приближенной зависимости изменения температуры в помещении при резком похолодании с продолжением дальнейшего убывания наружной температуры по линейному закону. Дана оценка полученного уточнения этой зависимости по сравнению с решением для случая постоянных наружных параметров на примере одного из помещений в жилом здании для климатических условий Москвы.

Выводы. Проанализирована структура полученного решения, показано, что продолжение внешнего похолодания приводит к ускорению остывания помещения, а решение для рассмотренного автором ранее режима остывания при постоянной температуре наружного воздуха является его частным случаем. Обнаружено, что продолжение наружного похолодания дополнительно приводит к выпрямлению графика внутренней температуры, потому что рост теплопотерь через безынерционные конструкции начинает в некоторой степени компенсировать замедление остывания, связанное с выделением аккумулированной теплоты из массивных ограждений.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: температура, резкое похолодание, остывание, теплоснабжение, температурная волна, аварийный режим

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Самарин О.Д. Расчет остывания помещений здания в аварийных режимах при переменной температуре наружного воздуха // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19. Вып. 1. С. 77–83. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.1.77-83

Автор, ответственный за переписку: Олег Дмитриевич Самарин, samarinod@mgsu.ru.

Calculation of cooling of building premises in emergency modes at variable outdoor temperature

Oleg D. Samarin

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

ABSTRACT

Introduction. Further development of methods of calculation the thermal regime of premises at emergency modes of operation of heat supply systems is actual. The aim of the research is to find an approximate analytical dependence of the air temperature in the building premises on time in conditions of a sharp cold snap with further linear decrease in outdoor temperature. As a scientific hypothesis, the position is put forward about the possibility of expressing this dependence through exponential functions using as an argument the square root of the time since the beginning of cooling.

Materials and methods. The basic differential equation of the convective heat balance in the room, including the most significant components of the heat flow is used under the assumption of the linear character of the outdoor temperature decrease over time, taking into account the peculiarities of the temperature wave propagation in massive enclosures in the initial period of time. The Bernoulli method for the linear differential equation of the first order is applied by representing the solution as a product of two functions.

Results. The analytical expression for the approximate dependence of the temperature change in the room at a sharp cold snap with the continuation of the further decrease of the outdoor temperature according to the linear law is found. The obtained refinement of this dependence is evaluated in comparison with the solution for the case of constant outdoor param-

eters on the example of one of the rooms in a residential building for the climatic conditions of Moscow.

Conclusions. The structure of the obtained solution is analyzed and it is shown that the continuation of external cooling leads to acceleration of room cooling, and the solution for the cooling mode previously considered by the author at constant outdoor air temperature is its special case. It was found that the continuation of external cooling additionally leads to some straightening of the internal temperature graph, because the growth of heat loss through inertial-free structures begins to compensate to some extent for the cooling slowdown associated with the release of accumulated heat from massive enclosures.

KEYWORDS: temperature, cold snap, cooling, heat supply, temperature wave, emergency mode

FOR CITATION: Samarina O.D. Calculation of cooling of building premises in emergency modes at variable outdoor temperature. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2024; 19(1):77-83. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.1.77-83 (rus.).

Corresponding author: Oleg D. Samarina, samarinod@mgsu.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Задача расчета нестационарного теплового режима помещений в аварийных режимах при прекращении подачи теплоты в здание является актуальной, поскольку связана с обеспечением безопасности жизнедеятельности человека и бесперебойного осуществления технологических процессов. Особое значение это имеет в настоящее время в условиях действия Федерального закона от 30.12.2009 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», который сосредотачивает основное внимание при проектировании и эксплуатации здания и его инженерных систем именно на таких вопросах. При этом в гражданских зданиях требования безопасности в первую очередь заключаются в недопущении конденсации влаги на внутренней поверхности ограждающих конструкций в помещениях, что будет обеспечено, когда температура этих поверхностей не станет опускаться ниже точки росы внутреннего воздуха t_p , °C.

Поэтому в качестве предмета исследования в предлагаемой работе автор рассматривает способы оценки темпа охлаждения зданий при прекращении подачи теплоты системой теплоснабжения для выявления интервала времени, в течение которого необходимо провести ремонтные работы, при условии соблюдения требований по безопасности жизнедеятельности. Цель исследования — поиск зависимости температуры воздуха в помещениях здания от времени в начальный период после аварии.

Решением рассматриваемой задачи в последние годы занимались исследователи как в нашей стране, так и за рубежом [1–7], при тех или иных исходных упрощающих предположениях, причем использовались и численные, и аналитические методы, а работы [5–7] содержат несколько более общую постановку проблемы с учетом автоматического регулирования систем обеспечения микроклимата. Однако большинство из имеющихся публикаций либо не учитывают некоторые существенные факторы, влияющие на процесс охлаждения, либо представляют результат в слишком сложной для инженерной практики форме. В работе [8] аналогичные вопросы рассматриваются в сочетании с экономическими методами, но представленные результаты являются достаточно частными и не обобщаются

на другие варианты. Другое направление в этой области в последние годы заключается во все более широком применении численного моделирования в процессе исследования и анализа переменных режимов. Здесь могут быть интересными некоторые иностранные публикации, в которых такие методы сейчас оказываются наиболее характерными, в том числе публикации [9–11], где они используются также вместе с результатами экспериментальных исследований, что дает возможность провести проверку и идентификацию используемой модели.

Кроме того, в рассматриваемой сфере имеется ряд решений для конкретных объектов, которые работают в ограниченных областях и в определенных условиях, например для вентилируемых фасадов совместно с системами естественной вентиляции [12]. Также можно обратить внимание на труды, посвященные решению обратной задачи, а именно определению теплофизических параметров материала на основе изучения колебаний температуры [13]. В последнее время опубликованы и некоторые исследования, касающиеся общих принципов управления инженерными системами зданий и внедрения энергосберегающих инженерных решений, возможных в этих условиях [14–16], но в связи с их общим характером в них также недостаточно конкретных зависимостей, которые интересуют автора в первую очередь. Автором ранее была представлена публикация [17], содержащая решение для случая автоматического регулирования подачи теплоты или холода по интегральному закону, которая содержит необходимую основу для проведения дальнейших изысканий, но также относится к иному режиму. Следовательно, продолжение исследований в рассматриваемой области для получения зависимостей, которые будут, с одной стороны, иметь удовлетворительную точность и учитывать большинство существенных для задачи факторов, но при этом имеют инженерный вид, является до сих пор актуальным.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Расчет скорости остывания помещения при отключении системы теплоснабжения с учетом особенностей распространения температурной волны в массивных ограждающих конструкциях был выполнен автором в работах [18, 19]. Однако при этом

в целях упрощения температура наружного воздуха t_n , °С, считалась постоянной в течение всего рассматриваемого интервала времени. В то же время на практике более характерным является случай, когда она продолжает непрерывно изменяться. Как показывает анализ имеющихся климатических данных, например, по результатам наблюдений срочной величины t_n на метеостанции ВДНХ в Москве¹, в период так называемого резкого похолодания (в частности, 5–6 января 2023 г.), а также при обычно следующим за ним резком потеплении, поведение t_n , как правило, достаточно хорошо можно описать линейной зависимостью типа $t_n = t_{n,0} + C\tau$, где $t_{n,0}$ — значение t_n в момент времени $\tau = 0$, а параметр C , К/с, представляет собой скорость ее изменения. Данное обстоятельство отмечалось также в работе [20]. В этом случае с использованием результатов, приведенных в публикациях [18, 19], основное уравнение баланса конвективной теплоты для помещения в целом будет выглядеть следующим образом:

$$A(\theta_b - C\tau) + B\sqrt{\tau} \frac{d\theta_b}{d\tau} = 0. \quad (1)$$

В качестве независимой переменной рассматривается τ — время, с, с момента прекращения подачи теплоты в здание. Здесь и далее для удобства используется избыточная температура внутреннего воздуха по отношению к начальной наружной $\theta_b = t_b - t_{n,0}$, К. Коэффициент A , Вт/К, можно вычислить по выражению [18, 19]:

$$A = \frac{L_n c_b \rho_b}{3,6} + \Sigma K_i A_{ni}, \quad (2)$$

где L_n — расход приточного воздуха, м³/ч; $c_b = 1,005$ кДж/(кг·К) и $\rho_b = 1,2$ кг/м³ — соответственно его удельная теплоемкость и плотность. Составляющая $\Sigma K_i A_{ni}$ по физическому смыслу является суммарной тепловой проводимостью «легких» (близких к безынерционным) ограждений, в первую очередь окон и световых фонарей, и тогда K_i и A_{ni} — соответственно коэффициенты теплопередачи, Вт/(м²·К), и площади, м², i -й светопрозрачной конструкции. Что касается параметра B , Вт·с^{1/2}/К, его значение вычисляется по формуле [18, 19]:

$$B = \Sigma A_n \sqrt{\lambda c p}, \quad (3)$$

где ΣA_n — суммарная площадь данных конструкций, м², для помещения или здания в целом; λ , c и p — это теплопроводность, Вт/(м·К), удельная теплоемкость, Дж/(кг·К), и плотность, кг/м³, материала слоя наружной стены, покрытия или перекрытия над подвалом, а также при определенных условиях и слоя внутренних ограждающих конструкций, обращенного внутрь помещений здания.

Если сделать замену $z = \sqrt{\tau}$, уравнение (1) относительно интересующей нас функции $\theta_b(z)$ становится линейным неоднородным 1-го порядка, поэтому оно всегда интегрируется в квадратурах. В каноническом виде его тогда можно записать так:

$$\frac{d\theta_b}{dz} + \frac{2A}{B}\theta_b - \frac{2AC}{B}z^2 = 0. \quad (4)$$

Интегрирование здесь проще всего провести методом Бернулли, а именно представляя искомое решение в виде произведения двух функций $\theta_b(z) = U \cdot V$, откуда находим:

$$\frac{dU}{dz}V + U\left(\frac{dV}{dz} + \frac{2A}{B}V\right) = \frac{2AC}{B}z^2. \quad (5)$$

Теперь, считая сумму в скобках равной нулю, определяем, что $V = \exp(-2A/(B) \cdot z)$ и, подставляя это выражение обратно в выражение (5), записываем:

$$\frac{dU}{dz} = \exp(2A/(B) \cdot z) \frac{2AC}{B} z^2. \quad (6)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

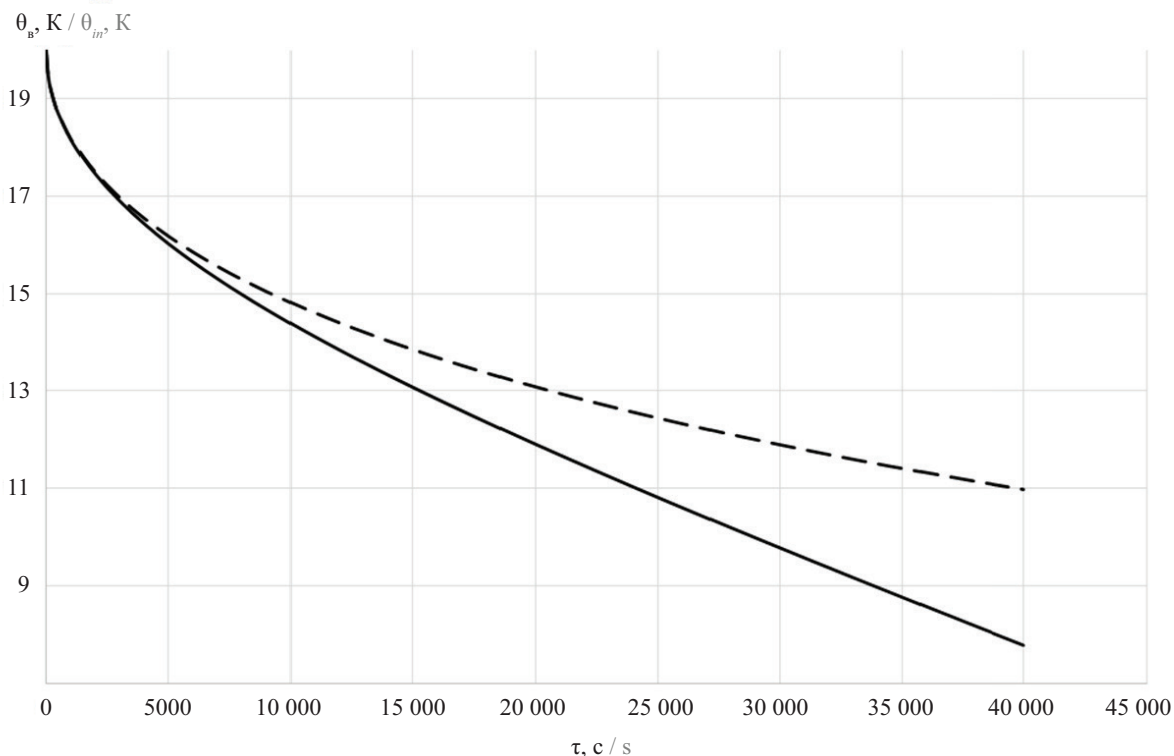
Из уравнения (6) после разделения переменных и второго интегрирования при очевидном начальном условии $\theta_b(0) = \theta_0 = t_{b,0} - t_{n,0}$, где $t_{b,0}$ имеет смысл значения t_b при $\tau = 0$, получаем искомую зависимость:

$$\theta_b = C \left[z^2 - \frac{B}{A}z + \frac{B^2}{2A^2} \right] + \left[\theta_0 - \frac{B^2 C}{2A^2} \right] \exp\left(-\frac{2A}{B}z\right). \quad (7)$$

В данном случае, как и при $t_n = \text{const}$, решение можно довести до конца в элементарных функциях, поскольку возникающие при этом интегралы являются табличными. Нетрудно заметить, что по общему правилу первое слагаемое (7) представляет собой одно из частных решений неоднородного уравнения (4), а второе — частное решение соответствующего ему однородного (при $C = 0$) при имеющемся значении $\theta_b(0)$.

Для наглядности на рисунке сплошной линией показаны результаты расчетов по выражению (7) для некоторого жилого помещения, расположенного на промежуточном этаже многоквартирного дома, с параметрами $A = 18$ Вт/К, в том числе $\Sigma K_i A_{ni} = 4$ Вт/К и $L_n = 42$ м³/ч, $B = 12000$ Вт·с^{1/2}/К, $t_{b,0} = +20$ °С, $t_{n,0} = 0$ °С и $C = -4,62 \cdot 10^{-4}$, исходя из понижения наружной температуры на 20 °С за 12 ч, что, хотя и весьма редко, но встречается в условиях Москвы. Для сравнения пунктиром изображено поведение θ_b при постоянной наружной температуре 0 °С, как было получено в работах [18, 19]. Легко видеть, что этот вариант теперь будет частным случаем (7) при $C = 0$. Анализ графиков показывает,

¹ Гидрометцентр России. URL: <https://meteoinfo.ru/>



Зависимость θ_v от времени для расчетного помещения: сплошная линия — расчет по формуле (7) при $C \neq 0$; пунктир — при $C = 0$

Time dependence of θ_v for the calculation room: solid line — calculation by formula (7) at $C \neq 0$; dotted line — at $C = 0$

что, как и следовало ожидать, влияние падения t_n на изменение величины θ_v начинает сказываться не сразу, причем, помимо общего ускорения охлаждения помещения, продолжение наружного похолодания приводит еще и к некоторому выпрямлению кривой θ_v , потому что рост теплопотерь через безынерционные конструкции начинает в некоторой степени компенсировать замедление остывания, связанное с выделением аккумулированной теплоты из массивных ограждений. Разумеется, в случае $C > 0$, когда аварийный режим сопровождается потеплением, характер отклонения линии θ_v от рассмотренной в трудах [18, 19] будет противоположным.

Таким образом, получили зависимость, определяющую скорость понижения температуры внутреннего воздуха в помещении при отключении подачи теплоты системой теплоснабжения в условиях продолжающегося похолодания. Ее использование позволяет оценить интервал времени, в течение которого в здании сохраняются допустимые условия внутреннего микроклимата, и тем самым определить срок, в течение которого должна быть устранена авария. В условиях рассмотренного примера, так как точка росы при $t_{в.0} = +20^\circ\text{C}$ и относительной влажности внутреннего воздуха, равной 55 %, принимаемой по СП 50.13330.2018 «СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий» для расчета ограждающих конструкций в жилых зданиях, равна около $+11^\circ\text{C}$, можно отметить, что продолжительность остывания

при $t_n = \text{const}$ составляет примерно 11,1 ч, а в случае учета падения t_n этот период уменьшается до 6,7 ч, т.е. примерно на 40 %, что является существенной величиной. При этом найденная зависимость имеет достаточно простой вид, требует минимального числа исходных данных и доступна для использования в инженерной практике.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате исследования в целом находит подтверждение исходная гипотеза о том, что зависимость от времени избыточной температуры внутреннего воздуха в помещении при аварийном прекращении теплоподдачи в здание и последующем продолжении понижения наружной температуры действительно выражается через экспоненциальные функции, использующие в качестве аргумента корень квадратный из времени с момента начала остывания. Кроме того, можно сделать следующие выводы:

- показано, что падение температуры наружного воздуха в условиях аварийного режима начинает влиять на характер изменения величины θ_v не сразу и при этом, помимо общего ускорения остывания помещения, постепенное наружное похолодание вызывает еще и некоторое выпрямление графика θ_v ;
- отмечено, что указанный эффект можно объяснить ростом теплопотерь через безынерционные конструкции, что начинает частично компенсиро-

вать замедление остывания из-за выделения теплоты, аккумулированной массивными ограждениями;

- продемонстрировано, что учет падения наружной температуры во время отключения теплоподдачи в здание приводит к существенному сокращению промежутка времени, доступного для ликвидации аварии (в рассмотренном примере — на величину около 40 %), поэтому такой учет является необходимым при обеспечении требуемой надежности теплоснабжения для реализации требований к безопасности жизнедеятельности и строительных конструкций. При этом данный расчет будет достаточно простым и доступным для инженерной практики.

Дальнейшее развитие предлагаемого исследования можно осуществлять в области уточнения полученной зависимости в отношении учета влияния понижения температуры наружного воздуха на коэффициент A в уравнении (1), если в здании предусмотрена естественная вентиляция, а также проверки условий ее применимости, касающихся интервала времени с момента прекращения теплоснабжения и начала дальнейшего похолодания, путем проведения многовариантных расчетов, в том числе с использованием численных методов и при возможности за счет сопоставления с результатами натурных замеров.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Рафальская Т.А., Березка А.К., Савенков А.А. Теоретическое исследование теплозащиты ограждающих конструкций зданий при аварийном теплоснабжении // Актуальные вопросы архитектуры и строительства : мат. X Всерос. науч.-техн. конф. 2017. С. 213–218. EDN ZVXSEN.
2. Mansurov R., Rafalskaya T., Efimov D. Mathematical modeling of thermal technical characteristics of external protections with air layers // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 97. P. 06007. DOI: 10.1051/e3sconf/20199706007
3. Rafalskaya T. Safety of engineering systems of buildings with limited heat supply // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1030. Vol. 1. P. 012049. DOI: 10.1088/1757-899X/1030/1/012049
4. Rafalskaya T.A. Simulation of thermal characteristics of heat supply systems in variable operating // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 138. Issue 1. P. 012140. DOI: 10.1088/1742-6596/1382/1/012140
5. Latif M., Nasir A. Decentralized stochastic control for building energy and comfort management // Journal of Building Engineering. 2019. Vol. 24. P. 100739. DOI: 10.1016/j.jobe.2019.100739
6. Serale G., Fiorentini M., Capozzoli A., Bernardini D., Bemporad A. Model predictive control (MPC) for enhancing building and HVAC system energy efficiency: problem formulation, applications and opportunities // Energies. 2018. Vol. 11. Issue 3. P. 631. DOI: 10.3390/en11030631
7. Ryzhov A., Ouerdane H., Gryazina E., Bischi A., Turitsyn K. Model predictive control of indoor microclimate: existing building stock comfort improvement // Energy Conversion and Management. 2019. Vol. 179. Pp. 219–228. DOI: 10.1016/j.enconman.2018.10.046
8. Avsyukevich D., Shishkin E., Litvinova N., Mirgorodskiy A. Thermoeconomic model of a building's thermal protection envelope and heating system // Magazine of Civil Engineering. 2022. № 5 (113). P. 11302. DOI: 10.34910/MCE.113.2. EDN TAVHNO.
9. Rulik S., Wróblewski W., Majkut M., Strozik M., Rusin K. Experimental and numerical analysis of heat transfer within cavity working under highly non-stationary flow conditions // Energy. 2020. Vol. 190. P. 116303. DOI: 10.1016/j.energy.2019.116303
10. Bilous I., Deshko V., Sukhodub I. Parametric analysis of external and internal factors influence on building energy performance using non-linear multivariate regression models // Journal of Building Engineering. 2018. Vol. 20. Pp. 327–336. DOI: 10.1016/j.jobe.2018.07.021
11. Millers R., Korjakins A., Lešinskis A., Borodinecs A. Cooling panel with integrated PCM layer: A verified simulation study // Energies. 2020. Vol. 13. Issue 21. P. 5715. DOI: 10.3390/en13215715
12. Petrichenko M.R., Nemova D.V., Kotov E.V., Tarasova D.S., Sergeev V.V. Ventilated façade integrated with the HVAC system for cold climate // Magazine of Civil Engineering. 2018. No. 1 (77). Pp. 47–58. DOI: 10.18720/MCE.77.5. EDN XPKZNB.
13. Li N., Chen Q. Experimental study on heat transfer characteristics of interior walls under partial-space heating mode in hot summer and cold winter zone in China // Applied Thermal Engineering. 2019. Vol. 162. P. 114264. DOI: 10.1016/j.appltherm.2019.114264
14. Belussi L., Barozzi B., Bellazzi A., Danza L., Devitofrancesco A., Ghellere M. et al. A review of performance of zero energy buildings and energy efficiency solutions // Journal of Building Engineering. 2019. Vol. 25. P. 100772. DOI: 10.1016/j.jobe.2019.100772
15. Sha H., Xu P., Yang Z., Chen Y., Tang J. Overview of computational intelligence for building energy system design // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2019. Vol. 108. Pp. 76–90. DOI: 10.1016/j.rser.2019.03.018
16. Kharchenko V., Ponochovnyi Y., Boyarchuk A., Brezhnev E., Andrashov A. Monte-Carlo simulation and availability assessment of the smart building automation systems considering component failures and

attacks on vulnerabilities // *Contemporary Complex Systems and Their Dependability*. 2019. Pp. 270–280. DOI: 10.1007/978-3-319-91446-6_26

17. Самарин О.Д. Расчет теплового режима помещения при использовании интегральных регуляторов для климатических систем // *Известия вузов. Строительство*. 2020. № 2 (734). С. 28–35. DOI: 10.32683/0536-1052-2020-734-2-28-35. EDN SSRGOX.

18. Самарин О.Д., Клочко А.К. Численные и приближенные методы в задачах строительной те-

плофизики и климатологии. М. : МГСУ, 2021. 96 с. EDN VAPFTA.

19. Самарин О.Д. Расчет остывания помещений здания в аварийных режимах для обеспечения надежности их теплоснабжения // *Вестник МГСУ*. 2019. Т. 14. № 4. С. 496–501. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.4.496-501

20. Богословский В.Н. Строительная теплофизика. 3-е изд. СПб. : Изд-во АВОК СЕВЕРО-ЗАПАД, 2006. 400 с.

Поступила в редакцию 30 мая 2023 г.

Принята в доработанном виде 1 июня 2023 г.

Одобрена для публикации 12 сентября 2023 г.

ОБ АВТОРЕ: Олег Дмитриевич Самарин — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 1708-9583, Scopus: 6603231128, ORCID: 0000-0003-2533-9732; samarinod@mgsu.ru, samarin-oleg@mail.ru.

REFERENCES

1. Rafalskaya T.A., Beryozka A.K., Savenkov A.A. Theoretical study of thermal protection of building envelopes in case of emergency heat supply. *Topical issues of architecture and construction : papers of 10th All-Russian science and technical conference*. 2017; 213-218. EDN ZVXSEN. (rus.).

2. Mansurov R., Rafalskaya T., Efimov D. Mathematical modeling of thermal technical characteristics of external protections with air layers. *E3S Web of Conferences*. 2019; 97:06007. DOI: 10.1051/e3s-conf/20199706007

3. Rafalskaya T. Safety of engineering systems of buildings with limited heat supply. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021; 1030(1):012049. DOI: 10.1088/1757-899X/1030/1/012049

4. Rafalskaya T.A. Simulation of thermal characteristics of heat supply systems in variable operating. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019; 138(1):012140. DOI: 10.1088/1742-6596/1382/1/012140

5. Latif M., Nasir A. Decentralized stochastic control for building energy and comfort management. *Journal of Building Engineering*. 2019; 24:100739. DOI: 10.1016/j.jobbe.2019.100739

6. Serale G., Fiorentini M., Capozzoli A., Bernardini D., Bemporad A. Model predictive control (MPC) for enhancing building and HVAC system energy efficiency: problem formulation, applications and opportunities. *Energies*. 2018; 11(3):631. DOI: 10.3390/en11030631

7. Ryzhov A., Ouerdane H., Gryazina E., Bischi A., Turitsyn K. Model predictive control of indoor microclimate: existing building stock comfort improvement. *Energy Conversion and Management*. 2019; 179:219-228. DOI: 10.1016/j.enconman.2018.10.046

8. Avsyukevich D., Shishkin E., Litvinova N., Mirgorodskiy A. Thermoeconomic model of a building's thermal protection envelope and heating system. *Magazine of Civil Engineering*. 2022; 5(113):11302. DOI: 10.34910/MCE.113.2. EDN TAVHNO.

9. Rulik S., Wróblewski W., Majkut M., Strozik M., Rusin K. Experimental and numerical analysis of heat transfer within cavity working under highly non-stationary flow conditions. *Energy*. 2020; 190:116303. DOI: 10.1016/j.energy.2019.116303

10. Bilous I., Deshko V., Sukhodub I. Parametric analysis of external and internal factors influence on building energy performance using non-linear multivariate regression models. *Journal of Building Engineering*. 2018; 20:327-336. DOI: 10.1016/j.jobbe.2018.07.021

11. Millers R., Korjamins A., Lešinskis A., Borodinecs A. Cooling panel with integrated PCM layer: A verified simulation study. *Energies*. 2020; 13(21):5715. DOI: 10.3390/en13215715

12. Petrichenko M.R., Nemova D.V., Kotov E.V., Tarasova D.S., Sergeev V.V. Ventilated facade integrated with the HVAC system for cold climate. *Magazine of Civil Engineering*. 2018; 1(77):47-58. DOI: 10.18720/MCE.77.5. EDN XPKZNB.

13. Li N., Chen Q. Experimental study on heat transfer characteristics of interior walls under partial-space heating mode in hot summer and cold winter zone in China. *Applied Thermal Engineering*. 2019; 162:114264. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2019.114264

14. Belussi L., Barozzi B., Bellazzi A., Danza L., Devitofrancesco A., Ghellere M. et al. A review of performance of zero energy buildings and energy efficien-

cy solutions. *Journal of Building Engineering*. 2019; 25:100772. DOI: 10.1016/j.jobbe.2019.100772

15. Sha H., Xu P., Yang Z., Chen Y., Tang J. Overview of computational intelligence for building energy system design. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2019; 108:76-90. DOI: 10.1016/j.rser.2019.03.018

16. Kharchenko V., Ponochovnyi Y., Boyarchuk A., Brezhnev E., Andrashov A. Monte-Carlo simulation and availability assessment of the smart building automation systems considering component failures and attacks on vulnerabilities. *Contemporary Complex Systems and Their Dependability*. 2019; 270-280. DOI: 10.1007/978-3-319-91446-6_26

17. Samarin O.D. Calculation of the indoor thermal mode with the use of integral controllers for climate con-

trol systems. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2020; 2(734):28-35. DOI: 10.32683/0536-1052-2020-734-2-28-35. EDN SSRGOX. (rus.).

18. Samarin O.D., Klochko A.K. *Numerical and approximated methods in the problems of building thermal physics and climatology*. Moscow, MGSU, 2021; 96. EDN VAPFTA. (rus.).

19. Samarin O.D. The calculation of building cooling under emergency conditions to ensure their heating reliability. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2019; 14(4):496-501. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.4.496-501 (rus.).

20. Bogoslovsky V.N. *Building thermal physics*. 3rd ed. St. Petersburg, AVOK SEVERO-ZAPAD Publ., 2006; 400. (rus.).

Received May 30, 2023.

Adopted in revised form on June 1, 2023.

Approved for publication on September 12, 2023.

B I O N O T E S : **Oleg D. Samarin** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor 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; SPIN-code: 1708-9583, Scopus: 6603231128, ORCID: 0000-0003-2533-9732; samarinod@mgsu.ru, samarin-oleg@mail.ru.

Разработка алгоритма расчета эффективности эксплуатации и ремонта пластинчатого теплообменника

Сергей Михайлович Чекардовский¹, Константин Николаевич Илюхин¹,
Андрей Александрович Мелехин², Михаил Николаевич Чекардовский¹

¹ Тюменский индустриальный университет (ТИУ); г. Тюмень, Россия;

² Научно-технический центр «Строительство и эксплуатация инженерных систем» (НТЦ «СЭИС»);
г. Мытищи, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Актуальность темы обусловлена определением эффективности проектирования и эксплуатации теплообменных аппаратов в результате развития цифровых технологий в науке и технике, в том числе после плановых и внеплановых ремонтов аппаратов. В настоящее время разработано много нормативной, учебной и методической документации. Проблемой является недостаточная достоверность определения эффективности теплообменных аппаратов.

Материалы и методы. Для решения проблемы разработан алгоритм расчета эффективности эксплуатации и ремонта пластинчатого теплообменника. Авторами созданы алгоритмы и программа в Microsoft Excel для проектного расчета теплообменника, включающего тепловой, конструкторский и гидравлический расчеты теплообменника, а также расчет эксергии проектируемого аппарата по данным программы проектного расчета теплообменника. В качестве реализации расчета эксергетического КПД пластинчатого теплообменника может быть применено веб-приложение ntcseis.ru на основе языка программирования Ukit.

Результаты. Выполнен проектный расчет пластинчатого теплообменника с помощью программы Microsoft Excel, включающий тепловой, конструкторский и гидравлический расчеты теплообменника. Осуществлен ручной расчет эксергии проектируемого аппарата в качестве решения прикладной задачи для определения эффективности проектируемого теплообменника. Разработано веб-приложение ntcseis.ru расчета эксергетического КПД пластинчатого теплообменника.

Выводы. В процессе выполнения работы поставлены и решены следующие задачи: рассчитаны тепловые, конструкторские и гидравлические параметры теплообменника на базе известной классической методики. Результаты расчета использовались для определения потерь эксергии проектируемого теплообменника с помощью рассчитанных значений среднелогарифмических температур и других параметров греющего и нагреваемого теплоносителей; потерь эксергии от теплообмена с окружающей средой, от конечной разности температур теплоносителей, от гидравлических сопротивлений в трактах теплоносителей; удельных термических эксергий теплоносителей на входе и выходе теплообменного аппарата; потока эксергии на входе и выходе аппарата; эксергетического коэффициента теплообменника. Разработано веб-приложение ntcseis.ru расчета эксергетического КПД пластинчатого теплообменника.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: алгоритм, эффективность, теплообменник, эксергия, расчет, проектируемые фактические параметры

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Чекардовский С.М., Илюхин К.Н., Мелехин А.А., Чекардовский М.Н. Разработка алгоритма расчета эффективности эксплуатации и ремонта пластинчатого теплообменника // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19. Вып. 1. С. 84–93. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.1.84-93

Автор, ответственный за переписку: Андрей Александрович Мелехин, melehin2006@yandex.ru.

Development of algorithm for calculation of operation and repair efficiency of a plate heat exchanger

Sergey M. Chekardovsky¹, Konstantin N. Ilyukhin¹,
Andrey A. Melekhin², Mikhail N. Chekardovsky¹

¹ Industrial University of Tyumen (IUT); Tyumen, Russian Federation;

² Scientific and Technical Center “Construction and Operation of Engineering Systems”;
Mytishchi, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The relevance of the topic is due to the determination of the efficiency of the design and operation of heat exchangers as a result of the development of digital technologies in science and technology, including after scheduled and unscheduled repairs of devices. At the present time, a lot of normative, educational and methodological documentation has been developed. The problem is insufficient reliability of determination of efficiency of heat exchangers.

Materials and methods. To solve the problem, an algorithm for calculating the efficiency of operation and repair of a plate heat exchanger is developed. The authors have created algorithms and a programme in Microsoft Excel for the design calculation of the heat exchanger, including thermal, design and hydraulic calculations of the heat exchanger, as well as the calculation of exergy the designed apparatus according to the heat exchanger design calculation programme. The web application ntcseis.ru based on the Ukit programming language can be used as an implementation of the calculation of the exergy efficiency of a plate heat exchanger.

Results. Design calculation of a plate heat exchanger was performed using the Microsoft Excel programme, including thermal, design and hydraulic calculations of the heat exchanger. A manual calculation of the exergy of the designed apparatus was performed as a solution to an applied problem to determine the efficiency of the designed heat exchanger. The web application ntcseis.ru of calculation of exergy efficiency of a plate heat exchanger was developed.

Conclusions. In the process of the work, the following tasks were set and solved: thermal, design and hydraulic parameters of the heat exchanger were calculated on the basis of the well-known classical methodology. The calculation results were used to determine the exergy losses of the designed heat exchanger using the calculated values of the average logarithmic temperatures and other parameters of the heating and heated heat carriers; exergy losses from heat exchange with the environment, from the final temperature difference of heat carriers, from hydraulic resistances in the paths of heat carriers; specific thermal exergy of heat carriers at the inlet and outlet of the heat exchanger; exergy flow at the inlet and outlet of the apparatus; exergy coefficient of the heat exchanger. A web application ntcseis.ru of calculation of the exergy efficiency of a plate heat exchanger is developed.

KEYWORDS: algorithm, efficiency, heat exchanger, exergy, calculation, projected actual parameters

FOR CITATION: Chekardovsky S.M., Ilyukhin K.N., Melekhin A.A., Chekardovsky M.N. Development of algorithm for calculation of operation and repair efficiency of a plate heat exchanger. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2024; 19(1):84-93. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.1.84-93 (rus.).

Corresponding authors: Andrey A. Melekhin, melehin2006@yandex.ru.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день существует ряд нормативных документов для проектирования зарубежных промежуточных теплообменных аппаратов (ПТА), а также ничем не уступающих по эффективности отечественных кожухотрубчатых теплообменников (например, тонкостенные теплообменные аппараты интенсифицированные — ТТАИ, Россия) для тепловых пунктов.

При проектировании ПТА для инженерных расчетов принимается значение термического коэффициента, равное единице ($\eta_t = 1$), и уравнение теплового баланса превращается в уравнение, когда греющий теплоноситель столько отдает тепла, сколько его воспринимает нагреваемый теплоноситель, поступающий к потребителю. На самом деле такое уравнение не учитывает потери тепла в процессе теплообмена и гидравлических сопротивлений ПТА [1].

Показатели качества эксплуатации теплообменников:

- критерий оценки эффективности обслуживания теплообменного оборудования, η_t [2];
- эксергетический коэффициент, $\eta_{\text{экс}}$;
- критерий М.В. Кирпичева Э;
- показатель интенсивности эксплуатации теплообменника А.С. Горшенина;
- критерии материалоемкости и компактности [3];
- новый коэффициент рекуперации R [4];
- совершенствованная безразмерная удельная тепловая нагрузка аппарата [1];
- совершенствованное число единиц переноса теплоты [4].

Недостатки критериев эффективности:

- термический коэффициент η_t имеет ограниченную область применения;

- энергетический коэффициент Э М.В. Кирпичева с доработкой профессора В.М. Антупьева имеет различную энергетическую ценность (тепловая и электрическая энергия);

- на величину воспринятой теплоты влияет главным образом переданная теплота;

- утверждение, что на коэффициент теплоотдачи температурный напор не оказывает влияние, а следовательно, является универсальным, служит дискуссионным;

- критерий оценки интенсивности интенсификации ТА и критерий компактности направлены на технико-экономическую оценку ТА.

Указанные недостатки можно устранить, если в качестве универсальной использовать методику определения эксергии проектируемого и эксплуатируемого ТА по исходным данным как классического проектного расчета ТА, так и модернизированного расчета ТА [1, 4].

Дополнительная информация может быть получена с помощью:

- нового коэффициента рекуперации, полученного авторами [4]:

$$R = 1 - \frac{\Theta_m}{t_1 - \tau_1},$$

где Θ_m — среднелогарифмическая разность температур греющего (ГТ) и нагреваемого теплоносителей (НТ), °C; t_1 и τ_1 — температуры ГТ и НТ на входе в ТА, °C.

Для оценки эффективности работы ТА рекомендуется выполнить достоверный проектный расчет теплообменника, включающий тепловой, конструктивный и гидравлический расчеты [4].

Следует учесть, что поверочный расчет рекомендуется использовать при исследовании экс-

Результаты расчета ПТА по классической методике [4–8]
The results of the calculation of PTA according to the classical method [4–8]

Исходные данные, пластина 0,6 Initial data, plate 0.6				Тепловой расчет Thermal calculation			
Q	2 181 892	Вт / W		1	t_b / t_v	38,6	°C
M_1	109,15	т/ч / t/h		2	ρ_1	990,71	кг/м ³ / kg/ m ³
M_2	46,91	т/ч / t/h		3	ν_1	7,32E-07	м ² /с / m ² /s
t_1	47,2	°C		4	λ_1	0,6256	Вт/м·K / W/(m·K)
t_2	30	°C		5	C_{p1}	4190,081	Дж/(кг·K) / J/(kg·K)
τ_1	5	°C		6	Pr_1	4,38515	–
τ_2	45	°C		7	τ_b / τ_v	25	°C
ΔP_1	41 000	Па / Pa		8	ρ_2	995,39	кг/м ³ / kg/ m ³
ΔP_2	92 000	Па / Pa		9	ν_2	1,13E-06	м ² /с / m ² /s
K_{np} / K_{ac}	1584	Вт/(м ² ·K) W/(m ² ·K)		10	λ_2	0,60795	Вт/м·K / W/(m·K)
ξ_{1np} / ξ_{1ac}	3,76	–		11	C_{p2}	4188,361	Дж/(кг·°C) / J/(kg·K)
d_3 / d_e	0,0096	м / m		12	Pr_2	6,4037	–
B	28,8	–		13	Pr_{ct} / Pr_{st}	31,8	–
β	0,84	–		14	2 185 104	=	2 183 067
δ	0,001	м / m		15	Θ_m	9,381	°C
$\lambda_{ct} / \lambda_{st}$	16,3	Вт/(м·°C) W/(m ² ·K)		16	ω_1	0,263	м/с / m/s
f_0	0,003	м ² / m ²		17	Re_1	3448,7	–
F_1	0,6	м ² / m ²		18	ξ_1	3,758	–
F_2	0,6	м ² / m ²		19	Nu_1	69,146	–
L_{np} / L_{ac}	0,836	м / m		20	α_1	4506,2	Вт/(м ² ·K) / W/(m ² ·K)
$\xi_{шт} / \xi_p$	1,5	–		21	ω_2	0,2498	м/с / m/s
D_y	0,2	м / m		22	Re_2	2130,85	–
T_0	293	K		23	ξ_2	4,24	–
				24	Nu_2	62,97	–
				25	α_2	3987,8	Вт/м ² ·K / W/(m ² ·K)
				26	K	1572,96	Вт/м ² ·K / W/(m ² ·K)
				27	F_a	147,864	м ² / m ²
					F_{pac} / F_c	148	м ² / m ²
					K_{pac} / F_c	1573	Вт/(м ² ·K) / W/(m ² ·K)
Конструкторский расчет / Design calculation				Гидравлический расчет / Hydraulic calculation			
1	f_1	0,11635	м ² / m ²	1	ΔP_{1p}	33 649	Па / Pa
2	f_2	0,0524	м ² / m ²	2	ΔP_{2p}	80 217	Па / Pa
3	m_1	38,783	39	3	$\omega_{шт1} / \omega_{p1}$	0,97	м/с / m/s
4	m_2	17,472	17	4	$\omega_{шт2} / \omega_{p2}$	0,42	м/с / m/s
5	n_1	78	–	5	ΔP_{a1}	33 649	Па / Pa
6	n_2	34	–	6	ΔP_{a2}	80 217	Па / Pa
7	$F_{n.g} / F_{n.g}$	46,8	м ² / m ²				
8	$F_{n.x} / F_{n.h}$	21,6	м ² / m ²				
9	X_1	3,1624	3				
10	X_2	7,255	7				
11	N_a	247,667	248				

платирующегося ТА, так как при проектировании ТА для обучения студентов в образовательных учреждениях результаты теплового расчета практически совпадают с результатами поверочного расчета [4, 5]. Поэтому необходимо использовать методику и алгоритм поверочного расчета ТА для исследования его эксплуатационного технического состояния.

В виде примера представлены результаты расчета в таблице [1, 4, 6–9].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для определения эксергетического коэффициента теплообменника, определяющего эффективность ПТА с учетом потерь теплоты (эксергии), предложен алгоритм, включающий параметры проектного расчета ПТА. Алгоритм расчета описан ниже.

Тепловые потери ПТА в закрытых помещениях при $\Delta t = 10^\circ\text{C}$ [3, 5], Вт:

$$Q_{\text{пот}} = a \cdot F \cdot \Delta t, \quad (1)$$

где $F = 1,01 \cdot F_{\text{рас}}$, м^2 ; $F = 1,01 \cdot 148 = 149,48 \text{ м}^2$ (принято); $F_{\text{рас}} = 148 \text{ м}^2$ — расчетная поверхность ПТА (табл., раздел Тепловой расчет [4]); Δt — разность средних температур изоляции аппарата и окружающей среды, $^\circ\text{C}$ (принято $\Delta t = 10^\circ\text{C}$); a — коэффициент теплоотдачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$ [5]:

$$a = 9,74 + 0,07\Delta t = 10,44. \quad (2)$$

Значит: $Q_{\text{пот}} = 15\,597,36 \text{ Вт}$.

По заданным температурам теплоносителей (ТН) определяем среднеарифметические (ср. лог) температуры ТН, К:

- греющего теплоносителя [4]:

$$T_{\text{ср.лог}} = \frac{T_1' - T_1''}{\ln(T_1'/T_1'')}; \quad (3)$$

где $T_1' = t_1 + 273,15$ — температура входа ГТ ПТА; $T_1'' = t_2 + 273$ — температура выхода ГТ ПТА; t_1, t_2 и τ_1, τ_2 (табл., раздел Исходные данные, пластина 0,6 [4]).

- нагреваемого теплоносителя [4]:

$$T_{\text{ср.лог}} = \frac{T_2'' - T_2'}{\ln(T_2''/T_2')}; \quad (4)$$

где $T_2' = \tau_1 + 273$ — температура входа НТ ПТА; $T_2'' = \tau_2 + 273$ — температура выхода НТ ПТА.

Значит: $T_{\text{ср.лог}} = 311,59 \text{ К}$; $T_{\text{ср.лог}} = 297,62 \text{ К}$.

Потеря эксергии в окружающую среду [10, 11]:

$$D_{\text{о.с}} = Q_{\text{пот}} \frac{1 - T_0}{T_{\text{ср.лог}}} + Q_{\text{пот}} \frac{1 - T_0}{T_{\text{ср.лог}}}, \quad (5)$$

где $Q_{\text{пот}} = 15\,597,36 \text{ Вт}$ — потери теплоты теплоносителей, Вт; $T_0, \text{К}$ — измеренная и осредненная температура окружающей среды в тепловом пункте (табл., раздел Исходные данные, пластина 0,6 [4]).

Так как принято $T_0 = 293,15 \text{ К}$, согласно литературе [10, 11], то:

$$D_{\text{о.с}} = 1157,62 \text{ Вт}.$$

Потеря эксергии от среднеарифметической разности температур теплоносителей:

$$D_{\Delta T} = T_0 Q_{\text{тп}} \left(\frac{1}{T_{\text{ср.лог}}} - \frac{1}{T_{\text{ср.лог}}} \right), \quad (6)$$

где $Q_{\text{тп}}$ — тепловой поток, Вт (табл., раздел Исходные данные [4]):

$$Q_{\text{тп}} = Q - Q_{\text{пот}} = 2\,166\,294,64 \text{ Вт}.$$

Значит: $D_{\Delta T} = 95\,666,13 \text{ Вт}$.

Удельная энтропия при изменении давления для жидкостей [11]:

$$\Delta S_{\Delta P1} = \frac{-\beta_{i1}(P_1' - P_1'')}{\rho_1} \text{ или} \quad (7)$$

$$\Delta S_{\Delta P1} = \frac{\beta_{i1}(P_1' - P_1'')}{\rho_1} = \beta_{i1} \cdot \frac{\Delta P_{1p}}{\rho_1}.$$

Потери эксергии от гидросопротивлений [11]:

$$D_{\Delta P1} = T_0 M_1 \Delta S_{\Delta P1} = T_0 M_1 + \beta_{i1} \cdot \frac{\Delta P_{1p}}{\rho_1}; \quad (8)$$

$$D_{\Delta P2} = T_0 M_2 + \beta_{i2} \cdot \frac{\Delta P_{2p}}{\rho_2},$$

где $M_1 = 109,15 \text{ т/ч} = 30,3194 \text{ кг/с}$ — массовый расход ГТ (табл., раздел Исходные данные [4]); $M_2 = 46,91 \text{ т/ч} = 13,031 \text{ кг/с}$ — массовый расход НТ (табл., раздел Исходные данные [4]); $\Delta P_{1p} = 33\,649 \text{ Па}$ — расчетный перепад давления по ГТ, Па (табл., раздел Гидравлический расчет [4]); $\Delta P_{2p} = 80\,217 \text{ Па}$ — расчетный перепад давления по НТ, Па (табл., раздел Гидравлический расчет [4]); $\rho_1 = 990,71 \text{ кг/м}^3$ — средняя плотность ГТ (табл., раздел Тепловой расчет [4]); $\rho_2 = 995,39 \text{ кг/м}^3$ — средняя плотность НТ (табл., Тепловой расчет [4]); β_{i1} и β_{i2} — коэффициенты объемного (термического) расширения для ГТ и НТ, $1/\text{К}$ (табл. 1 [11]). Для расчетов принято $\beta_{i1} = \beta_{i2} = 4,22 \cdot 10^{-4} \text{ 1/К}$.

Температурное расширение воды характеризуется соответствующим коэффициентом температурного расширения воды, β_t [11], и с увеличением давления коэффициент уменьшается.

Значит:

$$D_{\Delta P1} = \frac{T_0 M_1 + \beta_{i1} \cdot \Delta P_{1p}}{\rho_1} = 8902,51 \text{ Вт};$$

$$D_{\Delta P2} = 3820,07 \text{ Вт}.$$

Сумма потерь эксергии, Вт [12, 13]:

$$\Sigma D = D_{\text{о.с}} + D_{\Delta T} + (D_{\Delta P1} + D_{\Delta P2}), \quad (9)$$

где $D_{\text{о.с}}$ — потери эксергии от теплообмена с окружающей средой, Вт; $D_{\Delta T}$ — потери эксергии от конечной разности температур, Вт; $D_{\Delta P1}$ и $D_{\Delta P2}$ — потери эксергии от гидросопротивлений в трактах ГТ и НТ, Вт.

Значит: $\Sigma D = 109\,546,33 \text{ Вт}$.

По реальным результатам расчета ПТА (табл.) и расчета суммы потерь эксергии по уравнению (9) выполнили расчеты удельных термических эксергий теплоносителей (ТН) на входе ПТА.

В зависимости от:

- полных потоков эксергии ТН на входе $E_{\text{вх}}$, Вт;
- полной суммы потерь эксергии ΣD , Вт;
- теплообмена с окружающей средой D_{OC} , Вт;
- конечной разности температур $D_{\Delta T}$, Вт;
- гидравлических сопротивлений в трактах ГТ и НТ $D_{\Delta P1}$ и $D_{\Delta P2}$, Вт, определили эксергетический коэффициент аппарата $\eta_{\text{экс}}$.

Удельная термическая эксергия для воды [11, 14]:

$$e_i = C_{pi} (T_i - T_0) - T_0 \left[\ln C_{pi} \ln (T_i / T_0) - \frac{\beta_i \cdot \Delta P_i}{\rho_i} \right], \quad (10)$$

где C_{pi} — средняя теплоемкость компонента, Дж/(кг·К) (табл., Тепловой расчет [4]); T_i и T_0 — температуры компонента и окружающей среды, К (табл., Исходные данные, пластина 0,6 [4]); β_i — коэффициент объемного расширения, К⁻¹; ΔP_i — перепад давления, Па (табл., Гидравлический расчет [4]); ρ_i — плотность теплоносителя, кг/м³ (табл., Тепловой расчет [4]).

Для стандартных условий $T_0 = 293,15$ К и $P_0 = 101,325$ кПа [15].

Удельная термическая эксергия ГТ на входе ТА, Дж/кг [16]:

$$e'_i = C'_{pi} (T'_i - T_0) - T_0 \left[\ln C'_{pi} \ln (T'_i / T_0) - \frac{\beta_{i1} \cdot \Delta P_{1p}}{\rho'_{i1}} \right], \quad (11)$$

где $C'_{pi} = 4190,1$ Дж/(кг·К); $T'_i = t_i + 273,15 = 318,35$ К; $T_0 = 293,15$ К; $\beta_{i1} = 0,000422$ 1/К; $\Delta P_{1p} = 33\,649$ Па; $\rho'_{i1} = 990,71$ кг/м³.

Значит: $e'_i = 105\,393,1$ Дж/кг.

Удельная термическая эксергия НТ на выходе ТА [16], Дж/кг:

$$e'_2 = C'_{p2} (T'_2 - T_0) - T_0 \left[\ln C'_{p2} \ln (T'_2 / T_0) - \frac{\beta_{i2} \cdot \Delta P_{2p}}{\rho'_{i2}} \right], \quad (12)$$

где $C'_{p2} = 4188,4$ Дж/(кг·К); $T'_2 = t_2 + 273,15 = 303,15$ К; $\beta_{i2} = 0,000422$ 1/К; $\Delta P_{2p} = 80\,217$ Па; $\rho'_{i2} = 995,39$ кг/м³.

Значит: $e'_2 = 41\,807$ Дж/кг.

Поток эксергии на входе в ПТА, Вт [16, 17]:

$$E_{\text{вх}} = M_1 \cdot e'_i + M_2 \cdot e'_2, \quad (13)$$

где $M_1 = 109,15$ т/ч = 30,3194 кг/с — массовый расход ГТ (табл., Исходные данные [4]); $M_2 = 46,91$ т/ч = 13,031 кг/с — массовый расход НТ (табл., Исходные данные [4]).

Значит: $E_{\text{вх}} = 3\,740\,239,52$ Вт.

Поток эксергии на выходе из аппарата, Вт:

$$E_{\text{вых}} = M_1 \cdot e''_1 + M_2 \cdot e''_2, \quad (14)$$

где e''_1 и e''_2 — удельные термические эксергии компонентов на выходе теплообменника соответственно, Дж/кг.

Существует уравнение расчета эксергетического коэффициента теплообменника [16–19]:

$$\eta_{\text{экс}} = \frac{E_{\text{вых}} / E_{\text{вх}} (E_{\text{вх}} \cdot \Sigma D)}{E_{\text{вх}}} = 1 - (\Sigma D / E_{\text{вх}}), \quad (15)$$

где ΣD — сумма потерь эксергии, Вт (уравнение (9).

Значит:

$$\eta_{\text{экс}} = 1 - (\Sigma D / E_{\text{вх}}), \quad (16)$$

где $\Sigma D = 109\,546,33$ Вт; $E_{\text{вх}} = 3\,740\,239,52$ Вт.

Итого эксергетический коэффициент теплообменника:

$$\eta_{\text{экс}} = 1 - (\Sigma D / E_{\text{вх}}) = 0,971.$$

РЕЗУЛЬТАТЫ

В качестве реализации расчета эксергетического КПД пластинчатого теплообменника может быть применено веб-приложение ntcseis.ru на основе языка программирования Ukit [20].

На рис. 1, 2 представлены исходные данные для расчета эксергетического КПД пластинчатого теплообменника в веб-приложении ntcseis.ru. Технические параметры расчета эксергетического КПД пластинчатого теплообменника переводятся в математические данные ($A, C, D, \dots$).

Рис. 1. Исходные данные для расчета эксергетического КПД пластинчатого теплообменника в веб-приложении ntcseis.ru

Fig. 1. Initial data for calculating the exergy efficiency of a plate heat exchanger in a web-application ntcseis.ru

AJ

Ln (t1/2) (натуральный логарифм)

natural logarithm

AK

Ln (T1/T2) (натуральный логарифм)

natural logarithm

O

q1 (плотность ГТ), кг/куб.м.

density GT , kg/m3

P

q2 (плотность НТ), кг/куб.м.

density NT, kg/m3

Q

b1 (коэффициент для ГТ), 1/К

the coefficient for G, 1/K

R

b2 (коэффициент для НТ), 1/К

the coefficient for NK, 1/K

S

Cp1 (теплоемкость компонента ГТ), Дж/кг*К

heat capacity of the GT, D/kg*K

AA

Cp2 (теплоемкость компонента НТ), Дж/кг*К

heat capacity of the GT, D/kg*K

Y

Ln Cp1 (натуральный логарифм Cp1)

the natural logarithm of Cp1

AF

Ln Cp2 (натуральный логарифм Cp2)

the natural logarithm of Cp2

Z

Ln T1/T0 (натуральный логарифм)

the natural logarithm

AG

Ln t2/T0 (натуральный логарифм)

the natural logarithm

Рис. 2. Исходные данные для расчета эксергетического КПД пластинчатого теплообменника в веб-приложении ntcseis.ru

Fig. 2. Initial data for calculating the exergy efficiency of a plate heat exchanger in a web-application ntcseis.ru

R11

Qтпп, heat, Watt

I - J

R6

Doc , Watt

$R1 * (1 - R4 / R3) + R1 * (1 - R4 / R3)$

R5

a , W/sq.m.*K

$9.74 + 0.07 * C$

R4

T2cp. logarithmic temperature , degre

$((G + 273.15) + (F + 273.15)) / 2$

R3

T1cp. logarithmic temperature , degre

$((D + 273.15) + (E + 273)) / 2$

R1

Qпотери , Вт thermal losses , Watt

$A * R5 * C$

Рис. 3. Алгоритмы расчета эксергетического КПД пластинчатого теплообменника в веб-приложении ntcseis.ru

Fig. 3. Algorithms for calculating the exergy efficiency of a plate heat exchanger in a web-application ntcseis.ru

Расчет эксергетического КПД пластинчатого теплообменника
Calculation of the exergetic efficiency of the heat exchanger

F (площадь поверхности изоляции), кв.м.
Insulation surface area, m3

149.48

дельта t (разность температур изоляции аппарата и окружающей среды), град.
the temperature difference between the insulation of the apparatus and the environment, degrees

10

t1 (температура входа ГТ ПТА), град.
Inlet temperature GT PTA, degrees

41.2

t2 (температура выхода ГТ ПТА), град.
outlet temperature GT PTA, degrees

30

T1 (температура входа НТ ПТА), град.
inlet temperature NT PTA, degrees

5

T2 (температура выхода НТ ПТА), град.
outlet temperature NT PTA, degrees

45

T0 (измеренная температура окружающей среды в тепловом пункте), K
the measured ambient temperature in the heating point, K

293.15

Q (общий тепловой поток по классической методике), Вт
total heat flow according to the classical method, Watt

2181892

M1 (массовый расход ГТ), кг/с
mass consumption GT, kg/s

30.3194

M2 (массовый расход НТ), кг/с
mass consumption NT, kg/s

13.031

vP1p (расчетный перепад давления по ГТ), Па
calculated pressure drop according to GT, Pa

33649

vP2p (расчетный перепад давления по НТ), Па
calculated pressure drop according to NT, Pa

80217

Ln (t1/2) (натуральный логарифм)
natural logarithm

0.056

Ln (T1/T2) (натуральный логарифм)
natural logarithm

0.136

q1 (плотность ГТ), кг/куб.м.
density GT , kg/m3

990.71

q2 (плотность НТ), кг/куб.м.
density NT, kg/m3

995.39

b1 (коэффициент объемного (термического) расширения для ГТ), 1/К
the coefficient of volumetric (thermal) expansion for G, 1/K

0.000422

b2 (коэффициент объемного (термического) расширения для НТ), 1/К
the coefficient of volumetric (thermal) expansion for NK, 1/K

0.000422

Рис. 4. Фрагмент расчета КПД пластинчатого теплообменника в веб-приложении ntcseis.ru

Fig. 4. Fragment of calculating the efficiency of a plate heat exchanger in a web-application ntcseis.ru

Вестник МГСУ • ISSN 1997-0935 (Print) ISSN 2304-6600 (Online) • Том 19. Выпуск 1, 2024
Vestnik MGSU • Monthly Journal on Construction and Architecture • Volume 19. Issue 1, 2024

89

Qпрт (тепловые потери ПТА), Вт thermal losses of PTA, Watt	15 606
T1ср. (средняя логарифмическая разность температур входа и выхода ГТ ПТА), град. the average logarithmic temperature difference between the input and output of GT PTA, degrees	312
T2ср. (средняя логарифмическая разность температур выхода и входа НТ ПТА), град. the average logarithmic temperature difference between the input and output of NT PTA, degrees	298
α (суммарный коэффициент теплоотдачи лучеиспусканием и конвекцией), Вт/кв.м.*К total heat transfer coefficient by radiation and convection, W/sq.m.*K	10.44
Qос (потери теплоты в окружающую среду), Вт heat loss to the environment, Watt	1 401
Qтп (тепловые потери), Вт heat losses, Watt	2 181 892
Qвт (потери эксергии от конечной разности температур), Вт loss of exergy from a finite temperature difference, Watt	96 312
Dпр1 (поток потерь эксергии от гидравлических сопротивлений в тракте ГТ), Вт the flow of exergy losses from hydraulic resistances in the GT path, Watt	8 888
Dпр2 (поток потерь эксергии от гидравлических сопротивлений в тракте НТ), Вт the flow of exergy losses from hydraulic resistances in the NT path, Watt	3 820
сумма D (сумма потерь эксергии), Вт the amount of exergy losses, Watt	110 421

Рис. 5. Фрагмент расчета КПД пластинчатого теплообменника в веб-приложении ntcseis.ru

Fig. 5. Fragment of calculating the efficiency of a plate heat exchanger in a web-application ntcseis.ru

Далее теплотехнические зависимости по классической методике переводятся в математические алгоритмы. На рис. 3 приведены алгоритмы расчета эксергетического КПД пластинчатого теплообменника в веб-приложении ntcseis.ru.

На рис. 4, 5 представлена реализация расчета КПД пластинчатого теплообменника в веб-приложении ntcseis.ru. Расчет в веб-приложении позволил сократить время расчета при изменении различных параметров и оценить эксергетический КПД пластинчатого теплообменника.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В связи с цифровизацией при решении проблем в системе теплоснабжения по определению технического состояния теплообменных аппаратов тепловых пунктов разработан алгоритм расчета эффективности эксплуатации и ремонта теплообменников. В состав алгоритма входят уравнения классического теплового, конструкторского и гидравлического расчетов теплообменников, вошедшие в программу расчета Microsoft Excel (пример результатов расчета приведен в таблице). Представленный алгоритм расчета может быть трансформирован в любом программном средстве. В процессе исследования авторами определены и разработаны: результаты классического проектного расчета ТА; результаты расчета использовались для установления потерь эксергии проектируемого теплообменника с помощью рассчитанных значений параметров греющего и нагреваемого теплоносителей при классическом тепловом, конструкторском и гидравлическом расчете; разработано веб-приложение ntcseis.ru расчета эксергетического КПД ПТА на основе языка программирования Ukit.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Mota F.A.S., Carvalho E.P., Ravagnani M.A.S.S. Modeling and design of plate heat exchanger // Heat Transfer Studies and Applications. 2015. DOI: 10.5772/60885
2. Чабеева Ю.А., Булеков А.П., Сажин В.Б., Попов И.А., Беднякова А.А. Критерии эффективности теплообменников // Успехи в химии и химической технологии. 2012. Т. 26. № 5 (134). С. 112–115. EDN RCCGWP.
3. Столяренко В.И., Жерносек С.В., Ольшанский В.И., Марущак А.С., Мовсесян В.Ю. Исследование эффективности пластинчатого теплообменника // Материалы и технологии. 2020. № 1 (5). С. 33–38. DOI: 10.24412/2617-149X-2020-1-33-38. EDN DPUCLA.
4. Чекардовский М.Н., Илюхин К.Н., Чекардовский С.М., Харламова Н.А. Проектирование и исследование теплообменных аппаратов : учебное пособие. Тюмень, 2015. 124 с. EDN TXLIMB.
5. Мазо А.Б. Основы теории и методы расчета теплопередачи : учебное пособие. Казань, 2013. 144 с.
6. Savvin N.Yu., Kushchev L.A., Alifanova A.I. Modern methods of intensification of heat exchange processes in plate apparatuses // IOP Conference Series: Materi-

- als Science and Engineering. 2020. Vol. 945. Issue 1. P. 012001. DOI: 10.1088/1757-899x/945/1/012001
7. Cai H., Su L., Liao Y., Weng Z. Numerical and experimental study on the influence of top bypass flow on the performance of plate fin heat exchanger // Applied Thermal Engineering. 2019. Vol. 146. Pp. 356–363. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2018.10.007
8. Sventitskiy I. The logical-mathematical analysis for substantiation of efficiency of heat pumps and refrigerators // Research in Agricultural Electric Engineering. 2015. No. 4. Pp. 138–142. EDN VLQYXT.
9. Prathyusha B.G.R. Numerical investigation on shell, tube heat exchanger with segmental and helix baffles // International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development. 2018. Vol. 8. Issue 3. Pp. 183–192. DOI: 10.24247/ijmperdjun201821
10. Serth R.W., Lestina T. Process heat transfer. 2nd ed. Principles, Applications and Rules of Thumb. Oxford, UK : Elsevier, 2014.
11. Загорный С.В., Наумчик И.В., Дзитоев М.С., Михайленко А.В. Эксергетический анализ элементов

систем термостатирования // Труды МАИ. 2021. № 121. С. 11. DOI: 10.34759/trd-2021-121-11. EDN HNCRDP.

12. Кирюшатов А.И., Катков Д.С. Оценка термодинамической эффективности теплонасосных установок // Аграрный научный журнал. 2015. № 10. С. 39–41. EDN ULZYIV.

13. Chehade G., Dincer I. Exergy analysis and assessment of a new integrated industrial based energy system for power, steam and ammonia production // Energy. 2019. P. 116277. DOI: 10.1016/J.ENERGY.2019.116277

14. Нечитайлов В.В. Теплоэнергетические системы и энергетические балансы промышленных предприятий. Часть 2. Энергетические балансы промышленных предприятий : учебное пособие. СПб. : ВШТЭСПбГУПТД, 2023. 75 с.

15. Russo J., Akahane K., Tanaka H. Water-like anomalies as a function of tetrahedrality // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2018. Vol. 115. Issue 15. DOI: 10.1073/pnas.1722339115

16. Зыков С.В. Эксергетическая оптимизация режимов работы ТЭЦ : дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск : НГТУ, 2017. 114 с.

17. Александров А.А. Эксергия термодинамических систем // Термодинамические основы циклов теплоэнергетических установок. URL: <http://tw.t.mpei.ac.ru/TTHB/2/Aleksandrov/Chapter-6/6-1.pdf>

18. Chekardovskiy M.N., Chekardovskiy S.M., Chekardovskaya I.A. Evaluation development method of production efficiency level // Asia Life Sciences. 2019. № 1. Pp. 527–538. EDN AZSTVO.

19. Rashidi J., Yoo C. Exergy, exergo-economic, and exergy-pinch analyses (EXPA) of the kalina power-cooling cycle with an ejector // Energy. 2018. Vol. 155. Pp. 504–520. DOI: 10.1016/J.ENERGY.2018.04.178

20. Мелехин А.А. Разработка технико-экономических алгоритмов расчета для калькуляторов инженерных систем : монография. М. : Издательство МИСИ – МГСУ, 2021.

Поступила в редакцию 11 сентября 2023 г.

Принята в доработанном виде 21 октября 2023 г.

Одобрена для публикации 29 октября 2023 г.

ОБ АВТОРАХ: **Сергей Михайлович Чекардовский** — кандидат технических наук, доцент кафедры транспорта углеводородных ресурсов (ТУР), Институт транспорта; **Тюменский индустриальный университет (ТИУ)**; 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, д. 38; РИНЦ ID: 471357, Scopus: 57190858464, ResearcherID: T-2928-2017, ORCID: 0000-0001-9303-5648; ldgtd@mail.ru;

Константин Николаевич Илюхин — кандидат технических наук, доцент кафедры инженерных систем и сооружений (ИСИС), Строительный институт; **Тюменский индустриальный университет (ТИУ)**; 625001, г. Тюмень, ул. Луначарского, д. 2а; РИНЦ ID: 331663, Scopus: 6505533163, ResearcherID: B-9075-2016, ORCID: 0000-0001-9856-6915; iljuhinkn@tyuiu.ru;

Андрей Александрович Мелехин — кандидат технических наук, доцент, генеральный директор; **Научно-технический центр «Строительство и эксплуатация инженерных систем» (НТЦ «СЭИС»)**; 141006, Московская область, г. Мытищи, ул. Разведчика Абея, д. 5; РИНЦ ID: 663785, Scopus: 57191952249, ResearcherID: N-3616-2016; melehin2006@yandex.ru;

Михаил Николаевич Чекардовский — доктор технических наук, доцент кафедры инженерных систем и сооружений (ИСИС), Строительный институт; **Тюменский индустриальный университет (ТИУ)**; 625001, г. Тюмень, ул. Луначарского, д. 2а; РИНЦ ID: 471356, Scopus: 57192297387, ResearcherID: C-3414-2019, ORCID: 0000-0002-7166-1936; chekardovskijmn@tyuiu.ru.

Вклад авторов:

Чекардовский С.М. — определение параметров теплообменных аппаратов при проектировании и эксплуатации в результате развития цифровых технологий в науке и технике, в том числе после плановых и внеплановых ремонтов аппаратов.

Илюхин К.Н. — анализ нормативной, учебной и методической документации по определению эффективности ТА.

Мелехин А.А. — создание программы расчета эксергетического КПД пластинчатого теплообменника в веб-приложении ntcseis.ru.

Чекардовский М.Н. — научное руководство, участие в разработке алгоритма расчета эффективности эксплуатации и ремонта пластинчатого теплообменника, корректировка расчетов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Mota F.A.S., Carvalho E.P., Ravagnani M.A.S.S. Modeling and design of plate heat exchanger. *Heat Transfer Studies and Applications*. 2015. DOI: 10.5772/60885

2. Chabaeva Yu.A., Bulekov A.P., Sazhin V.B., Popov I.A., Bednyakova A.A. Criteria for the efficiency of heat exchangers. *Successes in chemistry and chemi-*

cal technology. 2012; 26(5):112-115. EDN RCCGWP. (rus.).

3. Stolyarenko V., Zhernosek S., Olshansky V., Marushchak A., Movsesyan V. Development of research methods for performance properties of composite layered materials. *Materials and Technologies*. 2020; 1(5):33-38. DOI: 10.24412/2617-149X-2020-1-33-38. EDN DPUCLA. (rus.).

4. Chekardovsky M.N., Ilyukhin K.N., Chekardovsky S.M., Kharlamova N.A. *Design and research of heat exchangers : textbook for students*. Tyumen, 2015; 124. EDN TXLIMB. (rus.).

5. Mazo A.B. *Fundamentals of theory and methods of calculation of heat transfer : textbook*. Kazan, 2013; 144. (rus.).

6. Savvin N.Yu., Kushchev L.A., Alifanova A.I. Modern methods of intensification of heat exchange processes in plate apparatuses. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020; 945(1):012001. DOI: 10.1088/1757-899x/945/1/012001

7. Cai H., Su L., Liao Y., Weng Z. Numerical and experimental study on the influence of top bypass flow on the performance of plate fin heat exchanger. *Applied Thermal Engineering*. 2019; 146:356-363. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2018.10.007

8. Sventitskiy I. The logical-mathematical analysis for substantiation of efficiency of heat pumps and refrigerators. *Research in Agricultural Electric Engineering*. 2015; 4:138-142. EDN VLQYXT.

9. Prathyusha B.G.R. Numerical Investigation on Shell, Tube Heat Exchanger with Segmental and Helix Baffles. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*. 2018; 8(3):183-192. DOI: 10.24247/ijmperdjun201821

10. Serth R.W., Lestina T. *Process Heat Transfer. 2nd Edition, Principles, Applications and Rules of Thumb*. Oxford, UK, Elsevier, 2014.

Received September 11, 2023.

Adopted in revised form on October 21, 2023.

Approved for publication on October 29, 2023.

11. Zagorniy S.V., Naumchik I.V., Dzitoev M.S., Mihaylenko A.V. Exergetic analysis of elements of thermostating systems. *Proceedings of MAI*. 2021; 121:11. DOI: 10.34759/trd-2021-121-11. EDN HNCRDP. (rus.).

12. Kiryushatov A.I., Katkov D.S. Evaluation of the thermodynamic efficiency of heat-pump systems. *The Agrarian Scientific Journal*. 2015; 10:39-41. EDN ULZYIV. (rus.).

13. Chehade G., Dincer I. Exergy analysis and assessment of a new integrated industrial based energy system for power, steam and ammonia production. *Energy*. 2019; 116277. DOI: 10.1016/J.ENERGY.2019.116277

14. Nechitailov V.V. Thermal power systems and energy balances of industrial enterprises. Part 2. *Energy balances of industrial enterprises : studies manual*. St. Petersburg, VSHTESPBGUPTD, 2023; 75. (rus.).

15. Russo J., Akahane K., Tanaka H. Water-like anomalies as a function of tetrahedrality. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2018; 115(15). DOI: 10.1073/pnas.1722339115

16. Zykov S.V. *Exergetic optimization of CHPP operation modes*. Novosibirsk, NSTU, 2017; 114. (rus.).

17. Alexandrov A.A. Exergy of thermodynamic systems. *Thermodynamic bases of cycles of thermal power plants*. URL: <http://tw.t.mpei.ac.ru/TTHB/2/Aleksandrov/Chapter-6/6-1.pdf> (rus.).

18. Chekardovskiy M.N., Chekardovskiy S.M., Chekardovskaya I.A. Evaluation development method of production efficiency level. *Asia Life Sciences*. 2019; 1:527-538. EDN AZSTVO.

19. Rashidi J., Yoo C. Exergy, exergo-economic, and exergy-pinch analyses (EXPA) of the Kalina power-cooling cycle with an ejector. *Energy*. 2018; 155:504-520. DOI: 10.1016/J.ENERGY.2018.04.178

20. Melekhin A.A. *Development of technical and economic calculation algorithms for calculators of engineering systems : monograph*. Moscow, MISI – MGSU Publishing House, 2021. (rus.).

B I O N O T E S : **Sergey M. Chekardovsky** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Transportation of Hydrocarbon Resources, Institute of Transport; **Industrial University of Tyumen (IUT)**; 38 Volodarsky st., Tyumen, 625000, Russian Federation; ID RSCI: 471357, Scopus: 57190858464, ResearcherID: T-2928-2017, ORCID: 0000-0001-9303-5648; ldgtd@mail.ru;

Konstantin N. Ilyukhin — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Engineering Systems and Structures, Construction Institute; **Industrial University of Tyumen (IUT)**; 2a Lunacharsky st., Tyumen, 625001, Russian Federation; ID RSCI: 331663, Scopus: 6505533163, ResearcherID: B-9075-2016, ORCID: 0000-0001-9856-6915; iljuhinkn@tyuiu.ru;

Andrey A. Melekhin — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, general director; **Scientific and Technical Center “Construction and Operation of Engineering Systems”**; 5 Scout Abel st., Moscow region, Mytishchi, 141006, Russian Federation; ID RSCI: 663785, Scopus: 57191952249, ResearcherID N-3616-2016; melehin2006@yandex.ru;

Mikhail N. Chekardovsky — Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Engineering Systems and Structures, Construction Institute; **Industrial University of Tyumen (IUT)**; 2a Lunacharsky st., Tyumen,

625001, Russian Federation; ID RSCI: 57192297387, ResearcherID: C-3414-2019, ORCID: 0000-0002-7166-1936; chekardovskijmn@tyuiu.ru.

Contribution of the authors:

Sergey M. Chekardovsky — determination of the parameters of heat exchangers (HE) during design and operation as a result of the development of digital technologies in science and technology, including after planned and unscheduled repairs of devices.

Konstantin N. Ilyukhin — analysis of normative, educational and methodological documentation for determining the effectiveness of HE. Due to the insufficient reliability of determining the efficiency of heat exchangers.

Andrey A. Melekhin — creation of a program for calculating the exergetic efficiency of a plate heat exchanger in a web application ntcseis.ru.

Mikhail N. Chekardovsky — scientific guidance, participation in the development of an algorithm for calculating the efficiency of operation and repair of a plate heat exchanger; correction of calculations.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Интенсивность водопотребления в отдельных водоразборных точках системы внутреннего водоснабжения

Дмитрий Евгеньевич Поливанов, Алексей Александрович Семенов
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ);
г. Санкт-Петербург, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Применяемые расчетные методики для прогнозирования водопотребления на объектах капитального строительства при их проектировании используют в своей основе предположение о детерминированном характере элементарных расходов (т.е. расходов одним потребителем или водоразборным устройством), что значительно огрубляет расчетные методики и лишает возможности детального анализа режимов функционирования системы водоснабжения рассматриваемого объекта. Изучен характер изменчивости и оценка законов распределения значений элементарных расходов воды, возникающих при работе ряда наиболее распространенных типов водоразборных устройств.

Материалы и методы. С помощью датчиков получены статистические данные о расходе воды в трубопроводах холодного и горячего водоснабжения, подающих воду к наиболее распространенным типам водоразборных устройств за 27 дней. Сведения обработаны и проанализированы с помощью методов теории вероятностей и математической статистики. Обработка осуществлялась в разработанных авторами программах на языке C# и R, визуализация результатов в программе Microsoft Excel.

Результаты. Определены основные числовые характеристики значений элементарных расходов воды. Построены графики временного ряда, плотности распределения и функции распределения значений секундного расхода воды для характерных случаев. Установлен закон распределения и выполнен анализ характера изменчивости значений секундного расхода воды для различных типов водоразборных устройств, предложен вариант их классификации по данному признаку.

Выводы. Предложено разделение водоразборных устройств по характеру изменчивости значений секундного расхода воды на две группы: стохастические и условно детерминированные. Установлено, что значение элементарного расхода для первой группы водоразборных устройств подчиняется логнормальному распределению, а для второй является детерминированной величиной.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: секундный расход воды, элементарный расход воды, интенсивность водопотребления, стохастическая природа, случайный характер, режим водопотребления, водоснабжение

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Поливанов Д.Е., Семенов А.А. Интенсивность водопотребления в отдельных водоразборных точках системы внутреннего водоснабжения // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19. Вып. 1. С. 94–104. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.1.94-104

Автор, ответственный за переписку: Дмитрий Евгеньевич Поливанов, dmitry_polivanov@mail.ru.

Intensity of water consumption in separate water collection points of internal water supply system

Dmitrii E. Polivanov, Alexey A. Semenov
Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPbGASU);
Saint Petersburg, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The applied calculation methods for predicting water consumption at the objects of capital construction, when designing them, are based on the assumption of the deterministic character of elementary expenses (that is, expenses by one consumer or a water collecting device), which significantly coarsens the calculation methods and makes it impossible to analyze in detail the modes of operation of the water supply system of the considered object. The article is devoted to the study of the nature of variability and evaluation of distribution laws of elementary water consumption values arising during the operation of a number of the most common types of water-dispensing devices.

Materials and methods. In the course of the study, statistical data on water consumption in cold and hot water pipelines supplying water to the most common types of water collection devices for 27 days were obtained using sensors. The data were processed and analyzed using methods of probability theory and mathematical statistics. Data processing was performed in C# and R programmes developed by the author, and visualization of the results in Microsoft Excel.

Results. The main numerical characteristics of the values of elementary water flow rates are determined. Graphs of the time series, distribution density and distribution function of values of second water flow for typical cases are constructed. The distribution law is established and the analysis of the nature of the variability of the values of the second water flow for various types of water-dispensing devices is carried out, as well as a variant of their classification on this basis is proposed.

Conclusions. The division of water-dispensing devices according to the character of variability of values of the second water flow rate into two groups is proposed: stochastic and conditionally deterministic. It is established that the value of the elementary flow rate for the first group of water-dispensing devices obeys the lognormal distribution, and for the second group it is a deterministic value.

KEYWORDS: second water flow rate, elementary water flow rate, water consumption intensity, stochastic nature, random nature, mode of water consumption, water supply

FOR CITATION: Polivanov D.E., Semenov A.A. Intensity of water consumption in separate water collection points of internal water supply system. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2024; 19(1):94-104. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.1.94-104 (rus.).

Corresponding author: Dmitrii E. Polivanov, dmitry_polivanov@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Удовлетворение базовых хозяйственно-питьевых нужд человека является одним из основных определяющих факторов благополучия и здоровья [1–3]. Поставка населению чистой воды в достаточном количестве невозможна без обеспечения устойчивой работы систем водоснабжения как целых населенных пунктов, так и их отдельных элементов (районов, округов, а также зданий и сооружений) [4].

Качество выполнения системой водоснабжения своих функций напрямую зависит от правильности технических решений, принятых при проектировании, например, таких как определение технических характеристик оборудования и трубопроводов.

Для систем водоснабжения одним из важнейших параметров, на базе которого проводятся дальнейшие расчеты и принимаются технические решения, служит расход воды [5–8].

В инженерной практике определение всех видов расхода воды (средние суточные, средние часовые, максимальные часовые и секундные, минимальные часовые¹ [9]) осуществляется при помощи расчетов, выполняемых на основании методик, изложенных в нормативных документах, таких как СП 30.13330.2020. В основе данных расчетных методик, как и традиционных моделей водопотребления, — детерминированные значения элементарных расходов (т.е. расходов одного потребителя, санитарно-технического прибора, водоразборной арматуры или бытового оборудования, установленных в одной точке)¹ [10–12].

Не лишенный ряда положительных сторон, такой подход относительно хорошо работал в прошлом, поскольку большая часть исследований проводилась только для оценки количественных показателей общего водопотребления. В ходе развития и усложнения систем водоснабжения для обеспечения их устойчивого, надежного и экономически эффективного функционирования стала приобретать все большее значение возможность разработки оптимальных подробных графиков водопотребления, которые могли бы более точно прогнозировать из-

менчивость расхода воды [11, 13–16]. Допущения о детерминированном характере элементарных расходов, с одной стороны, значительно упрощают выполнение расчетов и моделирование процесса водопотребления, с другой — сильно огрубляют модели систем водоснабжения и искажают результаты, полученные на их основе.

Многими авторами неоднократно подчеркивалась стохастическая природа изменчивости водопотребления [11, 17–20]. В работе [21] на основании данных выполненного натурного исследования автором также было наглядно продемонстрировано, что элементарный расход воды в трубопроводе системы холодного водоснабжения, вызванный работой смесителя кухонной мойки, является случайной величиной и подчиняется некоторому распределению.

Однако выявленное наличие ярко выраженного стохастического характера расхода воды через один определенный тип водоразборной арматуры (смеситель) в системе водоснабжения [21] еще не говорит о полной схожести всех элементарных расходов, вызванных работой санитарно-технических приборов, водоразборной арматуры и бытового оборудования (водоразборных устройств), а также случайной природой их возникновения. Таким образом, описание величины расхода воды, возникающего в трубопроводах систем внутреннего водоснабжения при использовании различных водоразборных устройств, требует дополнительного исследования.

Данная статья посвящена анализу характера изменчивости расхода воды для ряда наиболее распространенных типов водоразборных устройств (смесители кухонной мойки и ванны (душевой кабины), унитаза со смывным бачком, стиральная и посудомоечная машины), использующих воду из системы водоснабжения.

Цель исследования — выявление закономерностей распределения величины расхода воды, возникающего при эксплуатации водоразборных устройств, установленных в отдельных точках системы внутреннего водоснабжения зданий (элементарных расходов).

Объект исследования — наиболее распространенные типы водоразборных устройств.

Предметом исследования является расход воды водоразборными устройствами.

¹ СП 30.13330.2020. Внутренний водопровод и канализация зданий. 2020.

Задачи исследования:

- получение статистических данных о работе наиболее распространенных типов водоразборных устройств;
- построение графиков временных рядов секундных расходов воды;
- построение графиков плотности распределения и функции распределения секундного расхода воды;
- определение оценок основных числовых характеристик значений секундного расхода воды на основании эмпирических данных;
- классификация водоразборных устройств по характеру изменчивости значений секундного расхода воды в процессе эксплуатации;
- выявление закономерностей режимов водопотребления различными типами водоразборных устройств (оценка законов распределения значений секундного расхода воды различными типами водоразборных устройств).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

При выполнении исследования были получены сведения о расходе воды в трубопроводах холодного и горячего водоснабжения, подающих воду к наиболее распространенным типам водоразборных устройств, среди которых:

- 1) смеситель на кухонной мойке;
- 2) смеситель ванны (душевой кабины);
- 3) унитаз со смывным бачком;
- 4) стиральная машина;
- 5) посудомоечная машина.

Статистические данные получены автоматизированным способом при помощи системы, состоящей из датчика расхода и программируемого микроконтроллера, которая позволяет ежесекундно регистрировать показания датчика, обрабатывать их, записывать во внутреннюю память и передавать пользователю для дальнейшей обработки и изучения. Передача данных пользователю выполнялась в удобном для восприятия, обработки и последующего анализа виде (текстовый файл) и обеспечивалась посредством сети интернет. Подробное описание состава системы регистрации и передачи данных о расходе воды в трубопроводе и принципиальной схемы ее работы представлено в трудах [21, 22]. Визуальный контроль правильности передаваемых микроконтроллером сведений в процессе исследования производился по счетчику воды, являющемуся поверенным средством измерения, что гарантирует отсутствие отклонений при измерениях, которые могли бы возникнуть при сбое в работе микроконтроллера.

Длительность эксперимента (проводимого исследования) составила 27 дней (период с 05.06.2023 по 01.07.2023 г. включительно).

Изучение режима работы наиболее распространенных типов водоразборных устройств осуществлено в следующих условиях:

- назначение здания — жилое;
- место расположения водоразборных устройств — квартира;
- типы смесителей — рычажные (набортный и настенный с душевой сеткой на гибком шланге);
- количество потребителей — 2 человека;
- места установки датчиков — трубопроводы систем холодного и горячего водоснабжения непосредственно перед подключением к каждой из исследуемых водоразборных точек.

Для обработки и анализа полученных данных использовались методы теории вероятностей и математической статистики. Обработка информации, а также оценка параметров распределений значений случайной величины секундного расхода воды и проверка статистических гипотез о виде теоретического закона распределения проводились в разработанных авторами программах на языках C# и R. Визуализация результатов исследования (построение графиков) — с помощью программы для работы с электронными таблицами Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Общее количество измерений, выполненных в ходе эксперимента, в сумме составило 78 313 для всех водоразборных точек. Наблюдение осуществлялось круглосуточно. Фиксация показаний выполнялась ежесекундно. Распределение количества измерений между водоразборными устройствами является случайной величиной и определяется временем работы конкретного устройства в рассматриваемый период. Сведения о количестве измерений, выполненных каждым датчиком расхода воды, приведены в табл. 1.

На основании полученных данных построены графики временных рядов для всех типов рассматриваемых водоразборных устройств. При построении графиков периоды времени, когда расход воды в трубопроводе отсутствовал или режим водопотребления был неустановившимся, были исключены.

На рис. 1 показаны графики временных рядов секундного расхода воды в трубопроводе ХВС перед смесителем ванны (душевой кабины) и поплавковым клапаном смывного бачка унитаза.

По обработанным данным измерений также были построены графики эмпирической плотности вероятности и эмпирической функции распределения значений секундного расхода воды для тех же точек системы водоснабжения (рис. 2). Количество интервалов для построения графиков и гистограмм определено по правилу Стерджеса.

Как видно из представленных графиков (рис. 1, 2), секундный расход воды смесителем ванны имеет ярко выраженное распределение в широком диапазоне значений (подавляющее большинство значений, а именно 97,6 %, попадает в диапазон 0–0,078 л/с), и однозначно можно утверждать, что

Табл. 1. Количество выполненных измерений для каждого из установленных датчиков

Table 1. The number of measurements performed for each of the installed sensors

Система внутреннего водоснабжения Internal water supply system	Водоразборное устройство Water collecting device	Количество выполненных измерений за рассматриваемый период The number of measurements performed during the period under review
Холодное водоснабжение (ХВС) CWSS	Смеситель кухонной мойки Kitchen sink mixer	6065
Горячее водоснабжение (ГВС) HWSS	Смеситель кухонной мойки Kitchen sink mixer	5135
ХВС CWSS	Смеситель ванны Bath mixer	14 380
ГВС HWSS	Смеситель ванны Bath mixer	20 849
ХВС CWSS	Смывной бачок унитаза Toilet flush tank	25 053
ХВС CWSS	Посудомоечная машина Dishwasher	3611
ХВС CWSS	Стиральная машина Washing machine	3220

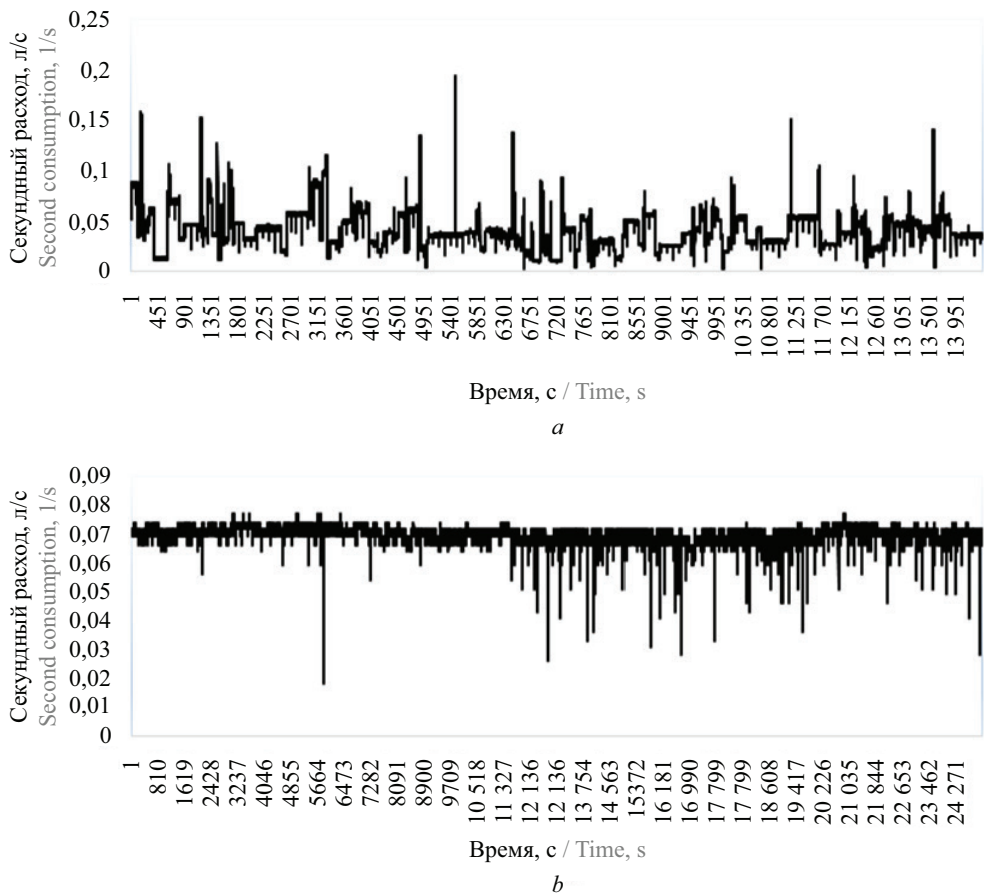


Рис. 1. Временной ряд значений секундного расхода воды в трубопроводе холодного водоснабжения: а — перед смесителем ванны; б — перед поплавковым клапаном смывного бачка унитаза

Fig. 1. Time series of values of the second water flow in the cold water pipeline: а — in front of the bath mixer; б — in front of the float valve of the toilet flush tank

он не является детерминированной величиной. Секундный расход воды в трубопроводе, подключенном к поплавковому клапану смывного бачка унитаза, также не принимает какое-либо определенное значение. Однако диапазон изменения значений секундного расхода воды в данном случае достаточно мал по своей величине (подавляющее большинство значений, а именно 98,5 %, попадает в диапазон

0,065–0,075 л/с). Количество значений секундного расхода, не попадающих в указанный диапазон, ничтожно мало.

Основной причиной изменчивости секундного расхода воды в случае со смесителем ванны, как и в случае, описанном в работе [21] для смесителя кухонной мойки, служит степень открытия смесителя, которая, в свою очередь, определяется психофизиологической

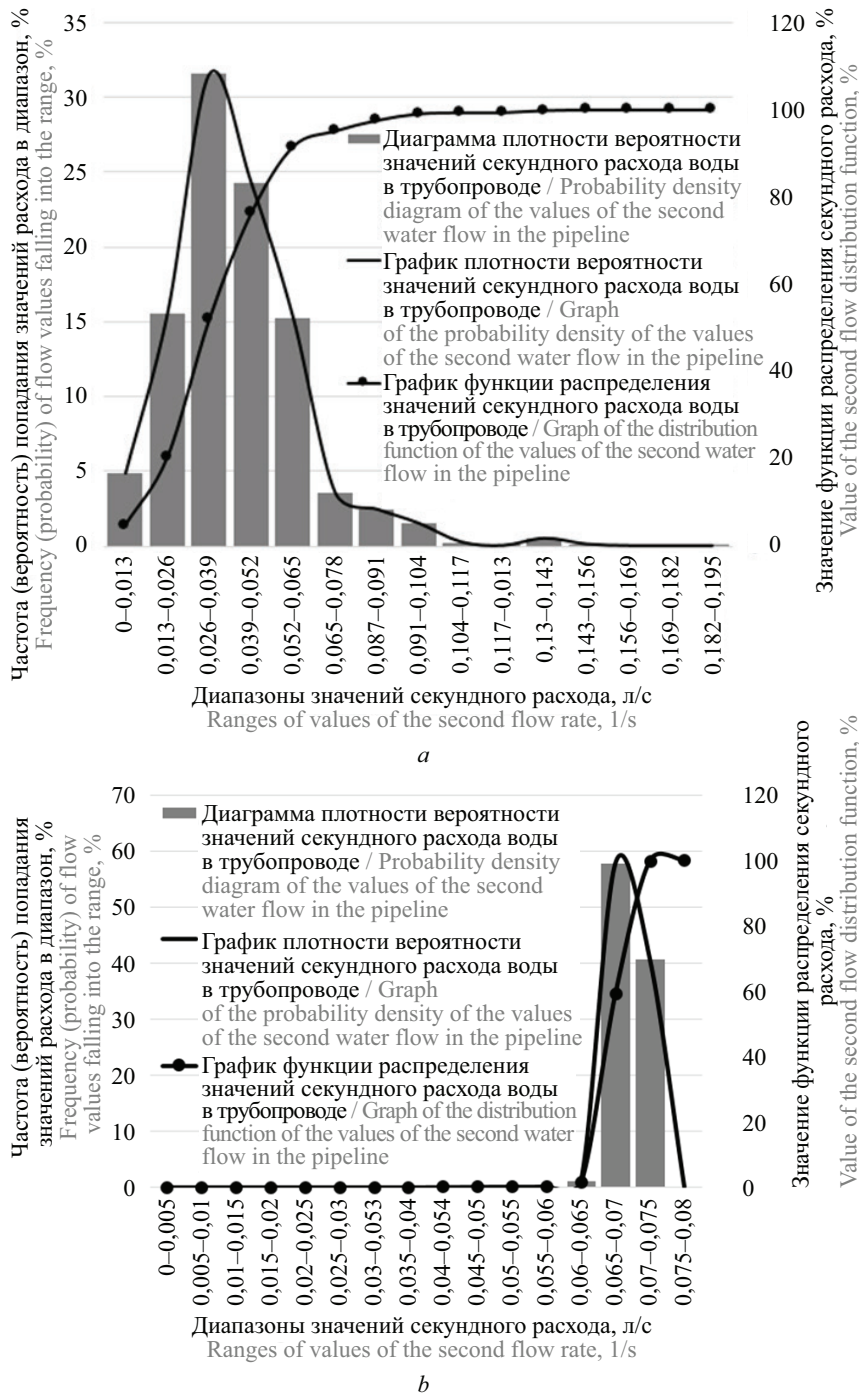


Рис. 2. Графики эмпирической плотности вероятности и эмпирической функции распределения значений секундного расхода воды в трубопроводе холодного водоснабжения: а — перед смесителем ванны; б — перед поплавковым клапаном смывного бачка унитаза

Fig. 2. Graphs of empirical probability density and the empirical distribution function of the values of the second water flow in the cold water pipeline: a — in front of the bath mixer; b — in front of the float valve of the toilet flush tank

потребностью в воде конкретного пользователя в конкретный момент времени. В случае со смывным бачком унитаза при обычной эксплуатации влияние пользователя (т.е. человека) на степень его открытия отсутствует и колебания значений расхода вероятнее всего связаны с изменением давления во внутренних сетях водоснабжения. Соответственно, при относительно стабильной работе системы водоснабжения (отсутствии скачков и падений давления в широких диапазонах) и значения расхода будут относительно стабильны.

Рассмотренная пара датчиков наглядно демонстрирует наблюдаемую в ходе эксперимента принципиальную разницу в режимах водопотребления различными водоразборными устройствами. Также выявлено, что аналогичные закономерности характерны и для остальных водоразборных устройств. Эти закономерности хорошо прослеживаются и при анализе несмещенных оценок основных числовых характеристик значений секундного расхода воды для каждого

водоразборного устройства, полученных при анализе эмпирических данных и приведенных в табл. 2.

При анализе представленных основных числовых характеристик значений секундного расхода воды в трубопроводах холодного и горячего водоснабжения по характеру их изменчивости можно выделить две группы:

- первая — смесители кухонной мойки и ванны (душевой кабины);
- вторая — смывной бачок унитаза, посудомоечная машина и стиральная машина.

Для первой группы коэффициент вариации составил 0,475–0,712, что говорит о сильной изменчивости значений секундного расхода относительно математического ожидания. Для второй группы этот показатель составил 0,036–0,155 и, напротив, указывает на то, что среднеквадратичное отклонение по отношению к математическому ожиданию достаточно мало.

Стоит также отметить, что для выделенных

Табл. 2. Основные числовые характеристики значений секундного расхода воды
Table 2. The main numerical characteristics of the values of the second water flow

Показатель Indicator	Место установки датчика расхода воды (система внутреннего водоснабжения и водоразборное устройство) Installation location of the water flow sensor (internal water supply system and water collecting device)						
	XBC CWSS	ГВС HWSS	XBC CWSS	ГВС HWSS	XBC CWSS	XBC CWSS	XBC CWSS
	смеситель кухонной мойки kitchen sink mixer	смеситель кухонной мойки kitchen sink mixer	смеситель ванны bath mixer	смеситель ванны bath mixer	смывной бачок унитаза toilet flush tank	посудомоечная машина dishwasher	стиральная машина washing machine
Количество выполненных измерений Number of measurements performed	6065	5135	14 380	20 849	25 053	3611	3220
Оценка математического ожидания $\hat{m}_{q0}$, л/с Estimation of mathematical expectation $\hat{m}_{q0}$, l/s	0,044	0,033	0,041	0,065	0,070	0,050	0,130
Оценка дисперсии $\hat{D}_{q0}$, (л/с) ² Estimation of variance $\hat{D}_{q0}$, (l/s) ²	0,000859	0,000556	0,000388	0,001570	0,000006	0,000059	0,000093
Оценка среднеквадратичного отклонения $\hat{\sigma}_{q0}$, л/с Estimation of the standard deviation $\hat{\sigma}_{q0}$, l/s	0,029	0,024	0,020	0,040	0,003	0,008	0,010
Оценка коэффициента вариации $\hat{C}_v$ Estimation of the coefficient of variation $\hat{C}_v$	0,660	0,712	0,475	0,612	0,036	0,155	0,074

групп водоразборных устройств характерны описанные выше признаки зависимости от влияния на значения их расхода непосредственного пользователя в конкретный момент времени.

Гипотеза о теоретическом законе распределения величины секундного расхода воды была выдвинута автором на основании анализа графиков плотности и функции распределения, построенных по эмпирическим данным, и оценок основных числовых характеристик эмпирических выборок. При выдвижении гипотезы о виде распределения также принимался во внимание ряд работ других авторов [13, 18, 23, 24]. Расчет параметров теоретического закона распределения выполнен методом моментов. При проверке статистических гипотез о теоретическом законе распределения уровень значимости принят $\alpha = 0,05$.

Гипотеза о принадлежности эмпирических выборок нормальному закону распределения была отвергнута на основании рассчитанного критерия Шапиро – Уилка.

Дальнейшая проверка статистических гипотез о принадлежности рассматриваемых эмпирических выборок некоторому теоретическому закону распределения осуществлялась на основании рассчитанного критерия Колмогорова [25]. Статистика критерия определяется по формуле:

$$D_n = \sup_x |F_n(x) - F(x)|,$$

где D_n — статистика критерия; $F_n(x)$ и $F(x)$ — эмпирическая и теоретическая функции распределения соответственно.

Расчет уровня значимости и статистики критерия выполнен в разработанной автором программе на языке R с помощью функции «ks.test» из пакета «stats». Результаты показали, что при принятом уровне значимости нет оснований отвергать гипотезу о логнормальном распределении ($X \sim \text{LgN}(\mu, \sigma^2)$) значений секундного расхода воды для трубопроводов холодного и горячего водоснабжения, подающих воду к смесителям кухон-

ной мойки и ванны (душевой кабины). Плотность распределения значений расхода в данном случае будет описываться следующим законом:

$$f(x) = \frac{1}{x\tilde{\sigma}\sqrt{2\tilde{A}}} e^{\frac{-(\ln(x)-\mu)^2}{2\tilde{A}^2}},$$

где μ и σ — параметры логнормального распределения, $x > 0$, $\sigma > 0$, $\mu \in R$.

Параметры логнормального распределения, рассчитанные для значений секундного расхода воды смесителями кухонной мойки и ванны (душевой кабины), представлены в табл. 3.

При оценке среднеквадратичного отклонения эмпирической выборки значений секундного расхода воды для таких типов водоразборных устройств, как смывной бачок унитаза, посудомоечная машина и стиральная машина, было установлено, что оно имеет малую величину по отношению к среднему выборочному (коэффициент вариации для разных выборок приведен в табл. 2). Поэтому авторы считают, что при моделировании процесса водопотребления целесообразно принимать значение секундного расхода воды данными типами водоразборных устройств детерминированным и определять по результатам исследований или по паспортным данным конкретного устройства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе выполненного исследования получены подробные статистические данные о секундном расходе воды в трубопроводах внутренних сетей холодного и горячего водоснабжения в местах их подключения к различным типам водоразборных устройств. На основании полученных сведений построены графики временного ряда, эмпирической плотности распределения и эмпирической функции распределения значений секундного расхода воды и рассчитаны их основные числовые характеристики для каждого исследованного типа водоразборных устройств.

Табл. 3. Параметры логнормального распределения значений секундного расхода воды смесителями кухонной мойки и ванны (душевой кабины)

Table 3. Parameters of the lognormal distribution of the values of the second water flow by kitchen sink and bath faucets (shower cabin)

Наименование водоразборного устройства Name of the water collecting device	Вид системы водоснабжения Type of water supply system	Параметр логнормального распределения Parameter of the lognormal distribution	
		μ	σ
Смеситель кухонной мойки Kitchen sink mixer	XBC CWSS	−3,30	0,60
Смеситель кухонной мойки Kitchen sink mixer	ГBC HWSS	−3,61	0,64
Смеситель ванны Bath mixer	XBC CWSS	−3,29	0,45
Смеситель ванны Bath mixer	ГBC HWSS	−2,90	0,56

На основании анализа имеющихся данных и графиков, а также выполненной проверки статистических гипотез о теоретическом законе распределения с уровнем значимости $\alpha = 0,05$, можно сделать следующие выводы:

- для каждого типа водоразборного устройства распределение значений секундного расхода воды является индивидуальным, но в то же самое время ряд устройств, обладающих схожими признаками, можно разделить на две большие группы:

1) со случайным характером расхода воды (стохастические), такие как смесители, значение секундного расхода воды в которых определяется во многом непосредственным пользователем и его психофизиологическими потребностями;

2) с относительно постоянным характером расхода воды (условно детерминированные), такие как смывной бачок унитаза, стиральная машина и посудомоечная машина, значение секундного расхода воды в которых определяется в основном техническими характеристиками конкретного типа

водоразборного устройства, а также характеристиками системы водоснабжения, к которой выполнено их подключение;

- для значений секундного расхода воды смесителями кухонной мойки и ванны нет оснований отвергать гипотезы о логнормальном теоретическом законе распределения с параметрами: $\mu = -3,30$ и $\sigma = 0,60$ для секундного расхода холодной воды смесителем кухонной мойки, $\mu = -3,61$ и $\sigma = 0,64$ для секундного расхода горячей воды смесителем кухонной мойки, $\mu = -3,29$ и $\sigma = 0,45$ для секундного расхода холодной воды смесителем ванны (душевой кабины), $\mu = -2,90$ и $\sigma = 0,56$ для секундного расхода горячей воды смесителем ванны (душевой кабины);

- значение секундного расхода воды такими типами водоразборных устройств, как смывной бачок унитаза, посудомоечная машина и стиральная машина, при моделировании процесса водопотребления целесообразно считать детерминированным и определять по результатам исследований или по паспортным данным конкретного устройства.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Duan H.-F., Pan B., Wang M., Chen L., Zheng F., Zhang Y. State-of-the-art review on the transient flow modeling and utilization for urban water supply system (UWSS) management // *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*. 2020. Vol. 69. Issue 8. Pp. 858–893. DOI: 10.2166/aqua.2020.048

2. Nguyễn Tuấn A., Nguyễn Minh K., Nguyễn Ninh H. Risk assessment and management in domestic water supply system in Pleiku city — Gia Lai province // *Journal of Science and Technology Issue on Information and Communications Technology*. 2019. Vol. 17. Issue 6. P. 50. DOI: 10.31130/JST-UD2018-366

3. Teichmann M., Kuta D., Endel S., Szeligova N. Modeling and optimization of the drinking water supply network — a system case study from the Czech Republic // *Sustainability*. 2020. Vol. 12. Issue 23. P. 9984. DOI: 10.3390/su12239984

4. Пуньрев Е.И., Примин О.Г. Методическое обеспечение разработки схем централизованных систем водоснабжения и водоотведения // *Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение*. 2013. № 5 (65). С. 4–8. EDN QAPKJT.

5. Исаев В.Н., Мхитарян М.Г. Анализ методик определения расходов во внутреннем водопроводе // *Санитарная техника*. 2003. № 5. С. 6–11.

6. Карамбиров С.Н., Бекишева Л.Б. О некоторых статистических закономерностях водопотребления в системах водоснабжения // *Природообустройство*. 2012. № 4. С. 45–48. EDN PEXIUT.

7. Сайриддинов С.Ш. Об особенностях расчета водопотребления при проектировании систем водоснабжения высотных зданий // *Градостроительство*

и архитектура. 2020. Т. 10. № 2 (39). С. 29–35. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.02.5. EDN AWRMPJ.

8. Moughton L.J., Buchberger S.G., Boccelli D.L., Filion Y.R., Karney B.W. Effect of time step and data aggregation on cross correlation of residential demands // *Water Distribution Systems Analysis Symposium 2006*. 2008. DOI: 10.1061/40941(247)42

9. Добромислов А.Я., Вербицкий А.С., Лякмунд А.Л. Пособие по определению расчетных расходов воды в системах водоснабжения и канализации зданий и микрорайонов. М. : ОАО «СантехНИИ-проект», 2007.

10. Шопенский Л.А. Исследование режимов работы водопроводов жилых зданий : автореф. дис. ... канд. тех. наук. М., 1968. 34 с.

11. Vertommen I., Magini R., da Conceicao Cunha M., Guercio R. Water demand uncertainty: the scaling laws approach // *Water Supply System Analysis — Selected Topics*. 2012. DOI: 10.5772/51542

12. Morley M., van Thienen P., Vertommen I., Torello M. VlinderNET — a tool for probabilistic hydraulic water distribution modelling and visualization // *EGU General Assembly 2023*. 2023. DOI: 10.5194/egusphere-egu23-17062

13. Mazzoni F., Alvisi S., Franchini M., Blokker M. Exploiting high-resolution data to investigate the characteristics of water consumption at the end-use level: A Dutch case study // *Water Resources and Industry*. 2023. Vol. 29. P. 100198. DOI: 10.1016/j.wri.2022.100198

14. Mazzoni F., Alvisi S., Blokker M., Buchberger S.G., Castelletti A., Cominola A. et al. Investigating the characteristics of residential end uses of water : a worldwide review // *Water Research*. 2023. Vol. 230. P. 119500. DOI: 10.1016/j.watres.2022.119500

15. Makki A.A., Stewart R.A., Beal C.D., Panuwatwanich K. Novel bottom-up urban water demand forecasting model: Revealing the determinants, drivers and predictors of residential indoor end-use consumption // *Resources, Conservation and Recycling*. 2015. Vol. 95. Pp. 15–37. DOI: 10.1016/j.resconrec.2014.11.009

16. Mazzoni F., Blokker E.J.M., Alvisi S., Franchini M. Evaluating residential water consumption at high spatio-temporal level of detail: a Dutch case study // *EGU General Assembly 2022*. 2022. DOI: 10.5194/egu-sphere-egu22-5700

17. Новицкий Н.Н., Вантеева О.В. Моделирование стохастики потокораспределения в гидравлических цепях // *Известия Российской академии наук. Энергетика*. 2011. № 2. С. 122–131. EDN NHLFNZ.

18. Buchberger S.G., Wu L. Model for instantaneous residential water demands // *Journal of Hydraulic Engineering*. 1995. Vol. 121. Issue 3. Pp. 232–246. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9429(1995)121:3(232)

19. Gargano R., Tricarico C., del Giudice G., Granata F. A stochastic model for daily residential water demand // *Water Supply*. 2016. Vol. 16. Issue 6. Pp. 1753–1767. DOI: 10.2166/ws.2016.102

20. Alvisi S., Franchini M., Marinelli A. A stochastic model for representing drinking water demand at

residential level // *Water Resources Management*. 2003. Vol. 17. Pp. 197–222. DOI: 10.1023/A:1024100518186

21. Поливанов Д.Е., Семенов А.А. Исследование режима отбора воды смесителем из системы водоснабжения // *Известия КГАСУ*. 2023. № 2 (64). С. 60–69. DOI: 10.52409/20731523_2023_2_60. EDN ZAEWGC.

22. Поливанов Д.Е., Семенов А.А. BIM-технологии с элементами программирования при анализе режимов работы внутренних сетей водоснабжения зданий // *ВМ-моделирование в задачах строительства и архитектуры : мат. VI Международный. науч.-практ. конф.* 2023. С. 81–91. DOI: 10.23968/BIMAC.2023.012. EDN YDMHWF.

23. Blokker E., Vreeburg J. Monte Carlo simulation of residential water demand: A stochastic end-use model // *Impacts of Global Climate Change*. 2005. DOI: 10.1061/40792(173)34

24. Blokker E.J.M. Stochastic water demand modelling for a better understanding of hydraulics in water distribution networks. *Water Management Academic Press Delft, The Netherlands*, 2010.

25. Колмогоров А.Н. Теория вероятностей и математическая статистика : сб. статей. М. : Наука, 1986. 534 с.

Поступила в редакцию 18 сентября 2023 г.

Принята в доработанном виде 15 ноября 2023 г.

Одобрена для публикации 15 ноября 2023 г.

ОБ АВТОРАХ: Дмитрий Евгеньевич Поливанов — аспирант кафедры информационных систем и технологий; Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ); 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4; РИНЦ ID: 1164703, ORCID: 0000-0002-4215-1208; dmitry_polivanov@mail.ru;

Алексей Александрович Семенов — кандидат технических наук, доцент кафедры информационных систем и технологий; Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ); 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4; РИНЦ ID: 648893, Scopus: 56460436800, ResearcherID: N-1075-2013, ORCID: 0000-0001-9490-7364; sw.semenov@gmail.com.

Вклад авторов:

Поливанов Д.Е. — идея исследования, разработка методики получения, сбор и анализ данных, написание исходного текста, итоговые выводы.

Семенов А.А. — научное руководство, доработка текста.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Duan H.-F., Pan B., Wang M., Chen L., Zheng F., Zhang Y. State-of-the-art review on the transient flow modeling and utilization for urban water supply system (UWSS) management. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*. 2020; 69(8):858–893. DOI: 10.2166/aqua.2020.048

2. Nguyễn Tuấn A., Nguyễn Minh K., Nguyễn Ninh H. Risk assessment and management in domestic water supply system in Pleiku city — Gia Lai province.

Journal of Science and Technology Issue on Information and Communications Technology. 2019; 17(6):50. DOI: 10.31130/JST-UD2018-366

3. Teichmann M., Kuta D., Endel S., Szeligova N. Modeling and Optimization of the drinking water supply network — a system case study from the Czech Republic. *Sustainability*. 2020; 12(23):9984. DOI: 10.3390/su12239984

4. Pupyrev E.I., Primin O.G. Methodological support for the development of schemes of centralized water supply and sanitation systems. *Water Treatment. Water Supply*. 2013; 5(65):4-8. EDN QAPKJT. (rus.).
5. Isaev V.N., Mkhitaran M.G. Analysis of methods for determining expenses in internal water supply. *Plumbing*. 2003; 5:6-11. (rus.).
6. Karambirov S.N., Bekisheva L.B. About some statistical regularities of water consumption in water supply systems. *Environmental Management*. 2012; 4:45-48. EDN PEXIUT. (rus.).
7. Sayriddinov S.Sh. About features of water consumption calculation when designing water supply systems of high-rise buildings. *Urban Construction and Architecture*. 2020; 10(2):29-35. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.02.5. EDN AWRMPJ.
8. Moughton L.J., Buchberger S.G., Boccelli D.L., Filion Y.R., Karney B.W. Effect of time step and data aggregation on cross correlation of residential demands. *Water Distribution Systems Analysis Symposium 2006*. 2008. DOI: 10.1061/40941(247)42
9. Dobromyslov A.Ya., Verbitsky A.S., Lyakmund A.L. *Manual for determining the estimated water consumption in water supply and sewerage systems of buildings and microdistricts*. Moscow, OAO "SantehNII-proekt" Publ., 2007. (rus.).
10. Chopensky L.A. *Investigation of the modes of operation of water pipes of residential buildings : abstract of the dissertation ... candidate of technical sciences*. Moscow, 1968; 34. (rus.).
11. Vertommen I., Magini R., da Conceicao Cunha M., Guercio R. Water demand uncertainty: the scaling laws approach. *Water Supply System Analysis — Selected Topics*. 2012. DOI: 10.5772/51542
12. Morley M., van Thienen P., Vertommen I., Torello M. VlinderNET — a tool for probabilistic hydraulic water distribution modelling and visualization. *EGU General Assembly 2023*. 2023. DOI: 10.5194/egusphere-egu23-17062
13. Mazzoni F., Alvisi S., Franchini M., Blokker M. Exploiting high-resolution data to investigate the characteristics of water consumption at the end-use level: A Dutch case study. *Water Resources and Industry*. 2023; 29:100198. DOI: 10.1016/j.wri.2022.100198
14. Mazzoni F., Alvisi S., Blokker M., Buchberger S.G., Castelletti A., Cominola A. et al. Investigating the characteristics of residential end uses of water : a world-wide review. *Water Research*. 2023; 230:119500. DOI: 10.1016/j.watres.2022.119500
15. Makki A.A., Stewart R.A., Beal C.D., Panuwatwanich K. Novel bottom-up urban water demand forecasting model: Revealing the determinants, drivers and predictors of residential indoor end-use consumption. *Resources, Conservation and Recycling*. 2015; 95:15-37. DOI: 10.1016/j.resconrec.2014.11.009
16. Mazzoni F., Blokker E.J.M., Alvisi S., Franchini M. Evaluating residential water consumption at high spatio-temporal level of detail: a Dutch case study. *EGU General Assembly 2022*. 2022. DOI: 10.5194/egusphere-egu22-5700
17. Novitsky N.N., Vanteeva O.V. Stochastic modeling of flow distribution in hydraulic circuit. *Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Power Engineering*. 2011; 2:122-131. EDN NHLFNZ. (rus.).
18. Buchberger S.G., Wu L. Model for instantaneous residential water demands. *Journal of Hydraulic Engineering*. 1995; 121(3):232-246. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9429(1995)121:3(232)
19. Gargano R., Tricarico C., del Giudice G., Granata F. A stochastic model for daily residential water demand. *Water Supply*. 2016; 16(6):1753-1767. DOI: 10.2166/ws.2016.102
20. Alvisi S., Franchini M., Marinelli A. A stochastic model for representing drinking water demand at residential level. *Water Resources Management*. 2003; 17:197-222. DOI: 10.1023/A:1024100518186
21. Polivanov D.E., Semenov A.A. Investigation of the mode of water extraction by a mixer from the water supply system. *News of the Kazan State University of Architecture and Engineering*. 2023; 2(64):60-69. DOI: 10.52409/20731523_2023_2_60. EDN ZAEWGC. (rus.).
22. Polivanov D.E., Semenov A.A. BIM technologies with programming elements in the analysis of operating modes of internal water supply networks of buildings. *BIM-modeling in construction and architecture tasks*. 2023; 81-91. DOI: 10.23968/BIMAC.2023.012. EDN YDMHWF. (rus.).
23. Blokker E., Vreeburg J. Monte Carlo simulation of residential water demand: A stochastic end-use model. *Impacts of Global Climate Change*. 2005. DOI: 10.1061/40792(173)34
24. Blokker E.J.M. *Stochastic water demand modelling for a better understanding of hydraulics in water distribution networks*. Water Management Academic Press Delft, The Netherlands, 2010.
25. Kolmogorov A.N. *Probability theory and mathematical statistics : collection of articles*. Moscow, Nauka Publ., 1986; 534. (rus.).

Received September 18, 2023.

Adopted in revised form on November 15, 2023.

Approved for publication on November 15, 2023.

B I O N O T E S : **Dmitrii E. Polivanov** — postgraduate student of the Department of Information Systems and Technologies; **Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPbGASU)**; 4, 2nd Krasnoarmeyskaya st., Saint Petersburg, 190005, Russian Federation; ID RSCI: 1164703, ORCID: 0000-0002-4215-1208; dmitry_polivanov@mail.ru;

Alexey A. Semenov — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information Systems and Technologies; **Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPbGASU)**; 4, 2nd Krasnoarmeyskaya st., Saint Petersburg, 190005, Russian Federation; ID RSCI: 648893, Scopus: 56460436800, ResearcherID: N-1075-2013, ORCID: 0000-0001-9490-7364; sw.semenov@gmail.com.

Contribution of the authors:

Dmitrii E. Polivanov — the idea of research, the development of methods for obtaining data, data collection and analysis, writing the source text, final conclusions.

Alexey A. Semenov — scientific guidance, revision of the text.

The authors declare that there is no conflict of interest.

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 69.059.3:620.179.18

DOI: 10.22227/1997-0935.2024.1.105-114

Применение комплексной системы оптического мониторинга технического состояния с внешним композитным армированием строительных конструкций

Михаил Юрьевич Федотов¹, Александр Анатольевич Кальгин¹,
Евгений Евгеньевич Шмойлов², Павел Дмитриевич Капырин³,
Олег Александрович Корнев³

¹ Российская инженерная академия (РИА); г. Москва, Россия;

² АО «Препрег-Современные Композиционные Материалы» (АО «Препрег-СКМ»); Москва, Россия;

³ Национальный исследовательский Московский государственный строительный
университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Обоснована актуальность применения современных методов непрерывной оценки фактического состояния автомобильных и железнодорожных мостов, промышленных и иных инженерных сооружений. Приведены результаты широкого использования оптического метода непрерывного контроля технического состояния инженерных сооружений в реальных условиях эксплуатации.

Материалы и методы. Использованы квазираспределенные волоконно-оптические датчики (ВОД) на основе волоконных брэгговских решеток. Представлен опыт применения волоконно-оптических систем мониторинга, в общем случае включающих: совокупность ВОД, построенных на различных физических принципах; многоканальные устройства их опроса (интеррогаторы); встроенное специальное программное обеспечение, предназначенное для сбора, обработки и визуализации данных мониторинга. Среди наиболее известных разработчиков и поставщиков композитных систем внешнего армирования на основе углеродных армирующих волокон стоит выделить зарубежные и отечественные материалы торговых марок MasterBrace (фирма BASF SE, Германия), SikaWrap (фирма Sika Group, Германия), Torayca (фирма Toray Industries, Япония), FibArm (АО «Препрег-СКМ», Россия), S&P (АО «Триада-Холдинг», Россия) и др. Одними из первых нормативных документов, устанавливающих требования к организации мониторинга в строительной отрасли, являются МГСН 4.19–2005, ГОСТ Р 22.1.12–2005, МРДС-02–08 и др.

Результаты. Установлено, что одной из наиболее перспективных технологий восстановления поврежденных конструкций служит применение систем внешнего армирования из полимерных композитных материалов на основе углеродных волокон и полимерных связующих холодного отверждения. Описан опыт практического использования композитных систем внешнего армирования инженерных сооружений.

Выводы. Результаты контроля позволяют своевременно выявлять снижение несущей способности, возникновение эксплуатационных повреждений, планировать ремонтные мероприятия. Применение волоконно-оптических методов и средств непрерывной диагностики и композитных систем внешнего армирования в комплексе дают возможность обеспечить безопасность эксплуатации инженерных сооружений в реальных условиях.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: инженерное сооружение, промышленное здание, мост, волоконно-оптическая система мониторинга, волоконно-оптический датчик, полимерный композитный материал, композитная система внешнего армирования, усиление

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Федотов М.Ю., Кальгин А.А., Шмойлов Е.Е., Капырин П.Д., Корнев О.А. Применение комплексной системы оптического мониторинга технического состояния с внешним композитным армированием строительных конструкций // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19. Вып. 1. С. 105–114. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.1.105-114

Автор, ответственный за переписку: Олег Александрович Корнев, morozovaanna499@gmail.com, i@okornev.ru.

Application of a complex system for optical monitoring of technical condition of building structures with external composite reinforcement

Mikhail Yu. Fedotov¹, Alexander A. Kalgin¹, Evgeniy E. Shmoilov²,
Pavel D. Kapyrin³, Oleg A. Kornev³

¹ Russian Academy of Engineering (RAE); Moscow, Russian Federation;

² Joint-stock company "Prepreg – Advanced Composite Materials"; Moscow, Russian Federation;

³ Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The relevance of using modern methods for continuous assessment of the actual condition of road and railway bridges, industrial and other engineering structures is substantiated. The results of wide application of optical method for continuous control of technical condition of engineering structures under real operating conditions are presented.

Materials and methods. Using quasi-distributed fibre-optic sensors based on fibre Bragg gratings. This paper presents experience in the application of fibre-optic monitoring systems, which generally include — a set of fibre-optic sensors (FOS), built on different physical principles, — multi-channel devices for their interrogation (interrogators), — built-in special software (Open source software) designed for collecting, processing and visualizing monitoring data. Among the most well-known developers and suppliers of composite systems for external reinforcement based on carbon reinforcing fibres, it is worth mentioning foreign and domestic materials under the trademarks of MasterBrace (BASF SE, Germany), SikaWrap (Sika Group, Germany), Torayca (Toray Industries, Japan), FibARM (JSC "Prepreg-SCM", Russia), S&P (JSC "Triada-Holding", Russia) and others. Some of the first regulatory documents establishing requirements for organizing monitoring in the construction industry are MGSN 4.19–2005, GOST R 22.1.12–2005, MRDS-02–08 and some others.

Results. It was established that one of the most promising technologies for restoration of damaged structures is the application of external reinforcement systems made of polymer composite materials based on carbon fibres and cold-curing polymer binders. The experience of practical application of composite systems of external reinforcement of engineering structures is described.

Conclusions. It is shown that the results of such control allow timely revealing the reduction of bearing capacity, occurrence of operational damages, planning repair measures that the application of fibre-optic methods and means of continuous diagnostics and composite systems of external reinforcement in a complex, allows to provide safety of operation of engineering constructions in real conditions.

KEYWORDS: engineering structure, industrial building, bridge, fibre-optic monitoring system, fibre-optic sensor, polymer composite material, composite external reinforcement system, reinforcement

FOR CITATION: Fedotov M.Yu., Kalgin A.A., Shmoilov E.E., Kapyrin P.D., Kornev O.A. Application of a complex system for optical monitoring of technical condition of building structures with external composite reinforcement. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2024; 19(1):105-114. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.1.105-114 (rus.).

Corresponding author: Oleg A. Kornev, morozovaanna499@gmail.com, i@okornev.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие науки и техники, применение новых строительных конструкционных материалов, технологий их переработки и утилизации [1], а также автоматизация технологических процессов [2] открывают широкие возможности для внедрения инновационной и наукоемкой продукции [3, 4] в строительной и смежных отраслях промышленности. Главными критериями как при создании новых конструкций, так и при эксплуатации существующих являются долговечность и обеспечение безопасности [5].

Сегодня эксплуатируется огромное количество инженерных сооружений, в частности мостов, спроектированных и возведенных в разное время в соответствии с нормативной документацией того времени. При этом длительная эксплуатация при современном уровне нагрузок приводит к снижению несущей способности и грузоподъемности и в конечном счете влияет на безопасность эксплуатации.

Из открытых источников известно, что степень износа мостов варьируется в довольно широких пределах, как правило от 30 до 70 % (рис. 1).

Основными причинами снижения несущей способности служат растрескивание бетона в местах опирания несущих балок, возникновение и развитие трещин вдоль металлической арматуры вследствие долговременных циклических и ударных воздействий при эксплуатации, морозное разрушение бетонных элементов и коррозия арматуры, а также снижение механических свойств металлических балок из-за усталости металла [6, 7].

Поэтому актуально усиление железобетонных и металлических конструкций системами внешнего армирования с использованием новых полимерных композитных материалов (ПКМ) в комплексе со средствами непрерывной диагностики в режиме реального времени с целью обеспечения безопасной эксплуатации [8, 9].



Рис. 1. Конструкции мостов с высокой степенью износа

Fig. 1. Bridge structures with a high degree of wear and tear

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Вопросам внедрения систем мониторинга — непрерывного неразрушающего контроля (НК) фактического технического состояния инженерных сооружений в настоящее время уделяется недостаточно внимания. Это связано с тем, что внедрение новых технологий и методов НК и технической диагностики представляет собой сложный и длительный процесс, сопряженный с определенными рисками, связанными со сложностью обработки разнородных данных, принятия решений на их основе, необходимостью адаптации к реальным условиям эксплуатации конкретных объектов, например к условиям Крайнего Севера, и т.п. Вместе с тем за последние 15 лет создан научно-технический задел, разработано и производится оборудование для мониторинга, реализовано большое количество проектов, поэтому актуальность широкого внедрения созданных технических решений не вызывает сомнений.

В данной работе приведен опыт применения волоконно-оптических систем мониторинга, в общем случае включающих:

- совокупность волоконно-оптических датчиков (ВОД), построенных на различных физических принципах;
- многоканальные устройства их опроса (интерrogаторы);
- встроенное специальное программное обеспечение (СПО), предназначенное для сбора, обработки и визуализации данных мониторинга.

Наибольшее распространение получили квазираспределенные ВОД на основе волоконных брэгговских решеток (ВБР), представляющие собой массив ВБР, сформированных на одном или нескольких волоконных световодах. Это позволяет реализовать на практике необходимую пространственную топологию под конкретный объект мониторинга с учетом условий его эксплуатации (статических и динамических механических нагрузок, температурных полей и т.п.).

При этом на практике для контроля инженерных сооружений, в частности мостовых конструкций, применяются визуальные методы НК, например, силами специалистов обходчиков, средства классической тензометрии с использованием электрических тензодатчиков. В случае выявления каких-либо повреждений применяются традиционные методы и средства НК — акустические, прежде всего ультразвуковые, тепловые и иные. В качестве ключевых преимуществ таких методов НК выделяют относительную простоту использования, наличие нормативно-технической и правовой базы. Основной недостаток НК заключается в невозможности его осуществления в режиме реального времени, поэтому проводят периодический НК, в том числе для объектов, эксплуатирующихся вдали от населенных пунктов. Неразрушающий контроль, проводимый специалистами — обходчиками, дает лишь субъективную оценку состояния конструкции, что напрямую влияет на безопасность эксплуатации. На основании выявленных НК повреждений принимается решение о мерах для дальнейшей безопасной эксплуатации.

Одним из наиболее перспективных методов усиления несущих конструкций инженерных сооружений, в частности мостов, и дальнейшего мониторинга их состояния является применение ПКМ на основе углеродных армирующих волокон в комплексе со средствами непрерывной диагностики. Применение подобных систем внешнего армирования (СВА) по аналогии с металлическими усиливающими элементами обеспечивает усиление конструкций и непрерывный мониторинг их состояния с выводом информации в автоматизированную систему управления (АСУ), позволяет снизить трудоемкость усиления несущих элементов. Кроме этого, отмечается выигрыш по весовой эффективности, так как по сравнению с собственным весом пролетного строения вклад композитных армирующих элементов минимален.

Применение ПКМ на основе углеродных армирующих волокон обладает преимуществом в сравнении с традиционными металлическими материалами, поскольку они обладают высокой удельной прочностью и эксплуатационными характеристиками, позволяющими применять их в различных климатических зонах. Вместе с тем в ряде случаев с целью уменьшения стоимости армирующего наполнителя могут применяться ПКМ на основе стеклянных армирующих волокон, а также гибридные ПКМ.

Среди наиболее известных разработчиков и поставщиков композитных СВА на основе углеродных армирующих волокон стоит выделить зарубежные и отечественные материалы торговых марок MasterBrace (фирма BASF SE, Германия), SikaWrap (фирма Sika Group, Германия), Тогауса (фирма Toray Industries, Япония), FibArm (АО «Препрег-СКМ», Россия), S&P (АО «Триада-Холдинг», Россия) и др. Экономический эффект от применения композитных СВА варьируется в диапазоне от 15 до 65 %.

Важным аспектом для широкого внедрения волоконно-оптических систем мониторинга совместно с композитными СВА служит создание нормативной базы, регулирующей применение конкретных технических и технологических решений.

Одними из первых нормативных документов, устанавливающих требования к организации мониторинга в строительной отрасли, стали МГСН 4.19–2005¹, ГОСТ Р 22.1.12–2005², МРДС 02–08³ и некоторые другие. Стоит отметить, что эти документы довольно общие и в основном носят рекомендательный характер.

В настоящее время применяется большое количество нормативных документов, являющихся стандартами конкретных организаций. Что касается использования композитных СВА для усиления железнодорожных мостов, эксплуатируемых ОАО «РЖД», в 2013 г. при активном участии АО «Препрег-СКМ» было разработано и утверждено вице-президентом ОАО «РЖД» А.В. Целько «Руководство по усилению железобетонных пролетных строений железнодорожных мостов системой внешнего армирования на основе углеродных волокон». Однако внедрение на реальных объектах представляется сложным в связи с положениями п. 5.4 СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы», где использование ПКМ для усиления несущих конструкций железнодорожных мостов недопустимо или в другой трактовке не регламентируется положениями данного документа.

Резюмируя вышесказанное, следует подчеркнуть, что разработка системы технического регулирования внедрения волоконно-оптических систем мониторинга в комплексе с композитными СВА — отдельная актуальная задача, без решения которой использование данных технических решений затруднено.

Опыт применения волоконно-оптических систем мониторинга инженерных сооружений

Изложен опыт практического применения волоконно-оптических систем мониторинга с использованием квазираспределенных ВОД деформации и температуры на основе ВБР, разработанных и серийно производимых компанией ООО «Инверсия-Сенсор» (г. Пермь). Перечень некоторых реализованных проектов в области мониторинга приведен в табл. 1.

¹ МГСН 4.19–2005. Временные нормы и правила проектирования многофункциональных высотных зданий и зданий-комплексов в городе Москве.

² ГОСТ Р 22.1.12–2005. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования (с Изменением № 1).

³ МРДС 02–08. Пособие по научно-техническому сопровождению и мониторингу строящихся зданий и сооружений, в том числе большепролетных, высотных и уникальных.

Так, в 2017 г. был реализован проект по оснащению волоконно-оптической системой мониторинга Затонского моста, расположенного в г. Уфе (рис. 2).

В рамках выполнения проекта были разработаны собственная SKADA-система, топология ВОД деформации и температуры и реализован контроль напряженно-деформированного состояния (НДС) металлических конструкций с учетом термокомпенсации, а также контроль частот колебаний моста. Дополнительно было проведено оповещение и вывод информации на пульт диспетчера.

Всего на объекте размещено 22 ВОД, из них 2 датчика линейных перемещений, 2 угла наклона, 8 деформации, 10 температуры. Дополнительно осуществлена интеграция системы с метеокomплексом.

В 2018 г. проведены работы по оснащению системой волоконно-оптического мониторинга стадиона «Пермь Великая» (рис. 3).

С учетом особенностей конструкции стадиона разработана схема расположения ВОД и осуществлен монтаж и коммутация датчиков для непрерывного мониторинга. Дополнительно разработана собственная оболочка Astro SCADA. Для указанных целей было использовано 22 ВОД, из них 10 датчиков линейных перемещений, 8 угла наклона, 2 деформации, 2 температуры. В результате реализованного проекта созданная система обеспечивает контроль НДС несущих металлических конструкций и фундаментов, контроль снеговой нагрузки, а также оповещение и вывод информации на пульт диспетчера.

Разработанное ПО предоставило возможность визуализации текущего уровня сигналов ВОД, опроса датчиков по расписанию, сохранения истории изменений значений датчиков, просмотр истории изменений значений датчиков, визуализацию тревог, квитирование тревог, извещения о тревогах.

В 2021–2022 гг. выполнен проект по разработке и установке волоконно-оптической системы мониторинга свайного фундамента (30 свай) промышленного здания, эксплуатируемого в Норильском промышленном районе. Особенность данного проекта заключается в том, что система должна эксплуатироваться в сложных условиях Крайнего Севера. По результатам теоретических и экспериментальных исследований была разработана и апробирована конструкция измерительного устройства [18] на металлической подложке в форме шестигранника из прутка, калиброванного по ГОСТ 10702 из стали 30ХГСА с установленными серийными ВОД деформации ASTRO A521 и термокомпенсатором на основе ВОД температуры ASTRO A512. С учетом особенностей конструкции свайного фундамента объекта мониторинга разработаны пространственная топология измерительных устройств и схема их коммутации, проведена установка измерительных устройств в количестве 30 шт. на 19 свай. Из-

Табл. 1. Объекты внедрения волоконно-оптических систем мониторинга [10–17]
Table 1. Objects for implementation of fibre-optic monitoring systems [10–17]

Наименование объекта мониторинга Name of monitoring object	Географическое расположение Geographical location
Свайный фундамент промышленного здания Pile foundation of an industrial building	Норильский промышленный район, Россия Norilsk industrial region, Russia
Восстановительно-окислительная установка Reduction-oxidation plant	г. Атырау, Казахстан Atyrau, Kazakhstan
Футбольный манеж «Пермь Великая» Football arena “Perm the Great”	г. Пермь, Россия Perm, Russia
Железнодорожный мост Railway bridge	Мост через р. Любовша, 118 км ПК7+46 линии Орел – Елец Московской железной дороги, главный путь Bridge over the river Lyubovsha, 118 km PK7+46 line Orel – Yelets of the Moscow Railway, main route
Затонский мост Zatonsky bridge	г. Уфа, Россия Ufa, Russia
Надземный переход Overpass	г. Пермь, Россия Perm, Russia
Жилой дом Residential building	ул. Беляева, д. 43, г. Пермь, Россия 43, st. Belyaeva, Perm, Russia
Магистральный газопровод Main gas pipeline	Газопровод Южный поток, Пермский край, Россия South Stream gas pipeline, Perm region, Russia
Оползневый участок магистрального газопровода Landslide section of the main gas pipeline	Газопровод Майкоп – Самурская – Сочи, Россия Maykop – Samurskaya – Sochi gas pipeline, Russia
Магистральный газопровод Main gas pipeline	Газопровод Чусовой – Березники – Соликамск, Пермский край, Россия Chusovoy – Berezniki – Solikamsk gas pipeline, Perm region, Russia
Гидротехнические сооружения Зарамагской ГЭС-1 Hydraulic structures of Zaramagskaya HPP-1	Республика Северная Осетия, Россия Republic of North Ossetia, Russia
Компрессорная станция Добрянская Compressor station Dobryanskaya	Пермский край, Россия Perm region, Russia
Манеж «Заря» Manezh “Zarya”	г. Новосибирск, Россия Novosibirsk, Russia

мерительные устройства закреплялись на сваях с помощью анкеров. Внешний вид измерительных устройств до установки показан на рис. 4, *a*, после установки на сваи — на рис. 4, *b* [19, 20].
Для опроса ВОД было выбрано 8-канальное устройство опроса ASTRO A313. Волоконно-опти-



Рис. 2. Оснащение Затонского моста системой мониторинга
Fig. 2. Equipping the Zatonsky Bridge with a monitoring system

ческая система мониторинга деформации и температуры введена в эксплуатацию в 2022 г. и продолжает эксплуатироваться в настоящее время.
Анализ реализации ряда проектов показал, что создание и внедрение новых образцов оборудования для мониторинга, конструкций датчиков, алгоритмов обработки и визуализации данных, реализованных в ПО, позволяет достичь повышения качества и достоверности контроля сложных технических систем различного назначения.
Опыт применения композитных СВА для усиления инженерных сооружений
Приведен опыт практического использования композитных СВА для усиления инженерных сооружений, разработанных и серийно производимых компанией АО «Препрег-СКМ» (г. Москва), в том числе в комплексе с системами непрерывного мониторинга. Перечень некоторых реализованных проектов в области применения композитных СВА приведен в табл. 2.



Рис. 3. Оснащение стадиона «Пермь Великая» системой мониторинга

Fig. 3. Equipping the “Perm the Great” stadium with a monitoring system

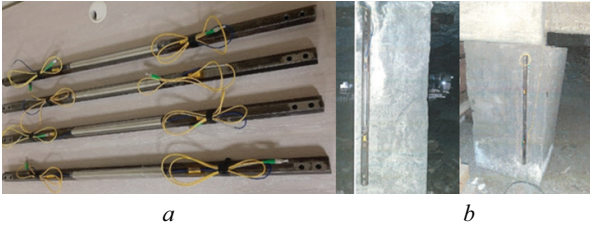


Рис. 4. Конструкция измерительного устройства: *a* — внешний вид; *b* — на свае

Fig. 4. Design of the measuring device: *a* — external view; *b* — on a pile

Один из наиболее интересных реализованных проектов — усиление несущих конструкций Международного центра бокса и самбо Лужники. Так, при разработке проекта по строительству здания изменилась технологическая часть проекта и произошло увеличение нагрузок на плиту перекрытия. С учетом этого обстоятельства потребовалось усиление несущих конструкций композитными СВА. Внешний вид конструкций до и после усиления представлен на рис. 5.

Выполнены работы по усилению несущих конструкций буддийского храма в г. Кызыл. По результатам проведенного обследования несущих конструкций каркаса здания был выявлен дефицит армирования, связанный с увеличением действующих нагрузок, а также влиянием сейсмических воздействий. Для обеспечения дальнейшей безопасной эксплуатации здания спроектирована и установлена композитная система армирования. Внешний вид исходных конструкций показан на рис. 6, *a*, после усиления — на рис. 6, *b*.

Аналогичные работы были проведены в здании главного офиса Омсктехуглерод, г. Омск.

Табл. 2. Объекты внедрения технологии внешнего армирования композитными СВА

Table 2. Objects of implementation of technology of external reinforcement with composite systems

Наименование объекта, географическое расположение Name of the bridge, geographical location
Исторический музей, г. Москва Historical Museum, Moscow
Дом Правительства РФ, г. Москва House of the Government of the Russian Federation, Moscow
Международный центр бокса и самбо Лужники, г. Москва International Boxing and Sambo Center Luzhniki, Moscow
Жилой дом в Тверской области, г/п г. Конаково Residential building in the Tver region, urban settlement Konakovo
9-этажные жилые дома, расположенные по адресу: г. Норильск, район Центральный, ул. 50 лет Октября, д. 2Б и 2В 9-storey residential buildings located at the address: 2B and 2V build., 50 Let Oktyabrya street, Central district, Norilsk
Музей Мирового океана, расположенный по адресу: г. Калининград, наб. Петра Великого, д. 1 Museum of the World Ocean, located at the address: 1 emb. Peter the Great, Kaliningrad
Метрополитен, г. Екатеринбург, станция метро Ботаническая Underground station. Yekaterinburg, Botanicheskaya underground station, Yekaterinburg
Гимназия им. А.И. Яковлева, расположенная по адресу: Ханты-Мансийский автономный округ — Югра, г. Урай, мкр. Западный, д. 8 Gymnasium named after A.I. Yakovleva, located at the address: 8 microdistrict. Zapadny microdistrict, Urai city, Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug — Ugra
Здание ж/д вокзала, расположенное по адресу: Московский вокзал г. Санкт-Петербург, Невский пр., д. 85 Railway station building, located at the address: 85 Nevsky Prospect, St. Petersburg, Moskovsky Station
Здание казармы, расположенное по адресу: г. Челябинск, пр. Победы, д. 187 Barracks building, located at the address: 187 Pobedy Ave., Chelyabinsk
Путепровод на ПК 3+60,725 ж/д пути Октябрьской железной дороги на 1273 км АНОФ-2 КФ АО «Апатит» Overpass on PK 3+60.725 railway track of the Oktyabrskaya Railway at 1273 km ANOF-2 KF JSC “Apatit”
Мост КМ 926+532 (в границах 927 км ПК6 2 путь Коинсар – Кукмор). Железнодорожный мост, усиление балок Bridge KM 926+532 (within the boundaries of 927 km PK6 2 route Koinsar – Kukmor). Railway bridge, reinforcement of beams
Многофункциональный гостиничный комплекс курортного типа (5 звезд), расположенный по адресу: г. Владивосток, ул. Набережная, д. 13 Multifunctional resort-type hotel complex (5 stars), located at the address: 13 Naberezhnaya street, Vladivostok

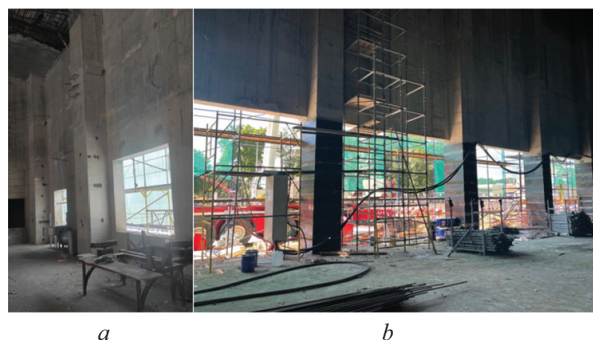


Рис. 5. Несущие конструкции центра Лужники: *a* — до усиления; *b* — после усиления

Fig. 5. Load-bearing structures of the Luzhniki centre: *a* — before reinforcement; *b* — after reinforcement



Рис. 6. Несущие конструкции буддийского храма: *a* — до усиления; *b* — после усиления

Fig. 6. Load-bearing structures of a Buddhist temple: *a* — before reinforcement; *b* — after reinforcement

РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате обследования монолитного каркаса здания обнаружены отклонения от проектного класса прочности бетона несущих перекрытий и вертикальных конструкций, также по результатам расчета был выявлен дефицит армирования несущих конструкций.

Внешний вид объекта при проведении подготовительных мероприятий представлен на рис. 7, *a*, после усиления с помощью композитных СВА — на рис. 7, *b*.

Использование разработанных материалов и технологий на эксплуатируемых сооружениях позволило в установленные сроки осуществить усиление конструкций в комплексе с системой оптического мониторинга и продлить ресурс их эксплуатации с учетом обеспечения требуемого уровня нагрузок и безопасности.



Рис. 7. Здание Омсктехуглерод: *a* — подготовительные мероприятия перед установкой СВА; *b* — результаты усиления

Fig. 7. Omsktekhuglerod building: *a* — preparatory measures before installing of the external reinforcement system; *b* — results of reinforcement

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение современных методов оптического мониторинга для сооружений строительной, транспортной, энергетической и других отраслей промышленности позволяет с высокой достоверностью оценивать фактическое состояние сложных технических систем, обеспечивая должный уровень безопасности эксплуатации, что особенно важно для объектов стратегического назначения.

Показано, что структура системы мониторинга, включая пространственную топологию датчиков, проектируется под конкретный объект с учетом особенностей его эксплуатации. Эта система эффективно применяется как для вновь возводимых, так и для существующих конструкций, имеющих эксплуатационные повреждения. Поврежденные конструкции с пониженной несущей способностью и грузоподъемностью целесообразно восстанавливать композитными материалами в комплексе с системой непрерывного мониторинга.

Приведенные результаты экспериментальных исследований и внедрения разработанных технологий для ряда объектов, включая гидротехнические сооружения, жилые здания, стадионы, автомобильные и железнодорожные мосты, дают возможность сделать вывод об эффективности реализованных решений и перспективности дальнейшего развития и широкого использования для объектов строительной индустрии.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кальгин А.А. Обращение с отходами // Строительство. Экономика и управление. 2022. № 2 (46). С. 16–23. EDN BFQXEN.
2. Кальгин А.А. Функциональная иерархия принятия решений // Academia. Архитектура и строительство. 2018. № 1. С. 88–91. DOI: 10.22337/2077-9038-2018-1-88-91. EDN YWPFHA.
3. Теличенко В.И., Липидус А.А., Слесарев М.Ю. Риски интеграции технологий искусственного интел-

- лекта в «зеленые» стандарты // Промышленное и гражданское строительство. 2023. № 8. С. 102–108. DOI: 10.33622/0869-7019.2023.08.102-108. EDN ARDRBK.

4. Теличенко В.И., Липидус А.А., Слесарев М.Ю. Анализ и синтез образов экологически ориентированных инновационных технологий строительного производства // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. № 8. С. 1298–1305. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.8.1298-1305

5. Теличенко В.И. Комплексная безопасность строительства // Вестник МГСУ. 2010. № 4–1. С. 10–17. EDN NEJDCN.

6. Иванников В.В., Николаев А.Г., Шварц В.М., Рябов О.Б., Степанов В.Н. Характерные дефекты и повреждения металлических конструкций // Химическая техника. 2015. № 7. С. 7. EDN ULQNQN.

7. Овчинников И.И., Овчинников И.Г. О причинах аварий и повреждений транспортных и других инженерных сооружений // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. 2021. № 1 (13). С. 186–193. EDN FDVYSD.

8. Gusev B.V., Fedotov M.Yu., Leshchenko V.V., Lepikhin A.M., Makhutov N.A., Budadin O.N. Non-destructive testing of offshore subsea pipelines and calculation substantiation of their safety according to risk criteria // Chemical and Petroleum Engineering. 2023. Vol. 58. Issue 9–10. Pp. 776–787. DOI: 10.1007/s10556-023-01161-0

9. Беккер А.Т., Уманский А.М. Полимерное связующее композитной арматуры. Виды, характеристики и перспективы к модификации // Вестник науки и образования. 2018. № 3 (39). С. 22–25.

10. Гусев Б.В., Будадин О.Н., Федотов М.Ю., Козельская С.О., Шелемба И.С. Опыт мониторинга технического состояния и усиления поврежденных строительных конструкций полимерными композиционными материалами // Вопросы оборонной техники. Научно-технический сборник. Серия 15. Композиционные неметаллические материалы в машиностроении. 2020. № 3–4. С. 85–94.

11. Yang M., Xu H. Application of fiber Bragg grating sensing technology and physical model in bridge detection // Results in Physics. 2023. Vol. 54. P. 107058. DOI: 10.1016/j.rinp.2023.107058

12. Shahmirzaloo A., Manconi M., van den Hurk B., Xu B., Blok R., Teuffel P. Numerical and experimental validation of the static performance of a full-scale flax fiber-polyester composite bridge model to support the design of an innovative footbridge // Engineering

Structures. 2023. Vol. 291. P. 116461. DOI: 10.1016/j.engstruct.2023.116461

13. Altabey W.A., Wu Z., Noori M., Fathnejat H. Structural health monitoring of composite pipelines utilizing fiber optic sensors and an ai-based algorithm — a comprehensive numerical study // Sensors. 2023. Vol. 23. Issue 8. P. 3887. DOI: 10.3390/s23083887

14. Alwis L., Bremer K., Roth B. Fiber optic sensors embedded in textile-reinforced concrete for smart structural health monitoring : A review // Sensors. 2021. Vol. 21. Issue 15. P. 4948. DOI: 10.3390/s21154948

15. Fouad N., Saifeldeen M.A. Smart self-sensing fiber-reinforced polymer sheet with woven carbon fiber line sensor for structural health monitoring // Advances in Structural Engineering. 2021. Vol. 24. Issue 1. Pp. 17–24. DOI: 10.1177/1369433220944507

16. Lau K.-T., Zhou L.-M., Tse P.-C., Yuan L.-B. Applications of composites, optical fibre sensors and smart composites for concrete rehabilitation : An overview // Applied Composite Materials. 2002. Vol. 9. Pp. 221–247. DOI: 10.1023/a:1016051903029

17. Watkins S.E. Smart bridges with fiber-optic sensors // IEEE Instrumentation & Measurement Magazine. 2003. Vol. 6. Issue 2. Pp. 25–30. DOI: 10.1109/mim.2003.1200280

18. Ларин А.А., Федотов М.Ю. Конструктивные решения для мониторинга фундаментов на Крайнем Севере // Промышленное и гражданское строительство. 2023. № 1. С. 43–50. DOI: 10.33622/0869-7019.2023.01.43-50. EDN PIDVKE.

19. Бростилова Т.Ю., Бростилов С.А., Мурашкина Т.И. Волоконно-оптический датчик деформации // Надежность и качество сложных систем. 2013. № 1 (1). С. 93–99. EDN RDVFSZ.

20. Федотов М.Ю., Ларин А.А. Особенности формирования пространственной топологии волоконно-оптической системы мониторинга свайных фундаментов в условиях Крайнего Севера // Контроль. Диагностика. 2023. Т. 26. № 2 (296). С. 42–51. DOI: 10.14489/td.2023.02.pp.042-051. EDN VLYIZH.

Поступила в редакцию 13 декабря 2023 г.

Принята в доработанном виде 21 декабря 2023 г.

Одобрена для публикации 26 декабря 2023 г.

ОБ АВТОРАХ: Михаил Юрьевич Федотов — заместитель президента; Российская инженерная академия (РИА); 125009, г. Москва, Газетный пер., д. 9, стр. 4; fedotovmyu@gmail.com;

Александр Анатольевич Кальгин — заместитель президента; Российская инженерная академия (РИА); 125009, г. Москва, Газетный пер., д. 9, стр. 4; alexander.kalgin@mail.ru;

Евгений Евгеньевич Шмойлов — главный эксперт департамента исследований и разработок; АО «Препрег-Современные Композиционные Материалы» (АО «Препрег-СКМ»); 109316, г. Москва, Волгоградский пр-т, д. 42, корп. 5; e.shmoylov@umatex.ru;

Павел Дмитриевич Капырин — начальник научно-технического управления; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; kapyrin@mgsu.ru;

Олег Александрович Корнев — заместитель директора Научно-исследовательского института экспериментальной механики (НИИ ЭМ); **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; i@okornev.ru.

Вклад авторов:

Федотов М.Ю. — написание введения, обработка результатов исследования.

Кальгин А.А. — написание введения, обработка результатов исследования, научное редактирование текста.

Шмойлов Е.Е. — обработка результатов исследования, научное редактирование текста.

Капырин П.Д. — научное редактирование текста, руководство проектом.

Корнев О.А. — написание заключения, руководство проектом.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Kalgin A.A. Waste management. *Construction. Economics and Management*. 2022; 2(46):16-23. EDN BFQXEN. (rus.).
2. Kalgin A.A. Functional hierarchy in decision making. *Academia. Architecture and Construction*. 2018; 1:88-91. DOI: 10.22337/2077-9038-2018-1-88-91. EDN YWPFHA. (rus.).
3. Telichenko V.I., Lapidus A.A., Slesarev M. Yu. Risks of integrating artificial intelligence technologies into “green” standards. *Industrial and Civil Engineering*. 2023; 8:102-108. DOI: 10.33622/0869-7019.2023.08.102-108. EDN ARDRBK. (rus.).
4. Telichenko V.I., Lapidus A.A., Slesarev M. Yu. Analysis and synthesis of images of environmentally oriented innovative technologies of construction production. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2023; 18(8):1298-1305. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.1298-1305. (rus.).
5. Telichenko V.I. Complex safety of building. *Bulletin of MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2010; 4-1:10-17. EDN NEJDCN. (rus.).
6. Ivannikov V.V., Nikolaev A.G., Shvarts V.M., Ryabov O.B., Stepanov V.N. Characteristic defects and damage to metal structures. *Chemical Technology*. 2015; 7:7. EDN ULQNQN. (rus.).
7. Ovchinnikov I.I., Ovchinnikov I.G. About causes of accidents and damages of transportation and other engineering constructions. *Resource and energy efficient technologies in the construction complex of the region*. 2021; 1(13):186-193. EDN FDVYSD. (rus.).
8. Gusev B.V., Fedotov M.Yu., Leshchenko V.V., Lepikhin A.M., Makhutov N.A., Budadin O.N. Nondestructive testing of offshore subsea pipelines and calculation substantiation of their safety according to risk criteria. *Chemical and Petroleum Engineering*. 2023; 58(9-10):776-787. DOI: 10.1007/s10556-023-01161-0
9. Bekker A.T., Umanskii A.M. Polymer binder of composite reinforcement. Types, characteristics and prospects of modification. *Bulletin of Science and Education*. 2018; 3(39):22-25. (rus.).
10. Gusev B.V., Budadin O.N., Fedotov M.Yu., Kozelskaya S.O., Shelemba I.S. Experience in monitoring the technical condition and strengthening of damaged building structures with polymer composite materials. *Questions of defense technology. Scientific and technical collection. Series 15. Composite non-metallic materials in mechanical engineering*. 2020; 3-4:85-94. (rus.).
11. Yang M., Xu H. Application of fiber Bragg grating sensing technology and physical model in bridge detection. *Results in Physics*. 2023; 54:107058. DOI: 10.1016/j.rinp.2023.107058
12. Shahmirzaloo A., Manconi M., van den Hurk B., Xu B., Blok R., Teuffel P. Numerical and experimental validation of the static performance of a full-scale flax fiber-polyester composite bridge model to support the design of an innovative footbridge. *Engineering Structures*. 2023; 291:116461. DOI: 10.1016/j.engstruct.2023.116461
13. Altabey W.A., Wu Z., Noori M., Fathnejat H. Structural health monitoring of composite pipelines utilizing fiber optic sensors and an AI-based algorithm — a comprehensive numerical study. *Sensors*. 2023; 23(8):3887. DOI: 10.3390/s23083887
14. Alwis L., Bremer K., Roth B. Fiber optic sensors embedded in textile-reinforced concrete for smart structural health monitoring : A review. *Sensors*. 2021; 21(15):4948. DOI: 10.3390/s21154948
15. Fouad N., Saifelddeen M.A. Smart self-sensing fiber-reinforced polymer sheet with woven carbon fiber line sensor for structural health monitoring. *Advances in Structural Engineering*. 2021; 24(1):17-24. DOI: 10.1177/1369433220944507
16. Lau K.-T., Zhou L.-M., Tse P.-C., Yuan L.-B. Applications of composites, optical fibre sensors and smart composites for concrete rehabilitation : An overview. *Applied Composite Materials*. 2002; 9:221-247. DOI: 10.1023/a:1016051903029
17. Watkins S.E. Smart bridges with fiber-optic sensors. *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*. 2003; 6(2):25-30. DOI: 10.1109/mim.2003.1200280
18. Larin A.A., Fedotov M.Yu. Constructive solutions for monitoring foundations in the Far North. *Industrial and*

Civil Engineering. 2023; 1:43-50. DOI: 10.33622/0869-7019.2023.01.43-50. EDN PIDVKE. (rus.).

19. Brostilova T.Yu., Brostilov S.A., Murashkina T.I. Fiber-optic strain sensor. *Reliability and Quality of Complex Systems*. 2013; 1(1):93-99. EDN RDVFSZ. (rus.).

20. Fedotov M.Yu., Larin A.A. Features of the formation of the spatial topology of the fiber-optic system of monitoring pile foundations in the conditions of the Far North. *Control. Diagnostics*. 2023; 26(2):(296):42-51. DOI: 10.14489/td.2023.02.pp.042-051. EDN VLYIZH. (rus.).

Received December 13, 2023.

Adopted in revised form on December 21, 2023.

Approved for publication on December 26, 2023.

B I O N O T E S : **Mikhail Yu. Fedotov** — Vice president; **Russian Academy of Engineering (RAE)**; build. 4, 9 Gazetny lane, Moscow, 125009, Gazetny lane, Russian Federation; fedotovmyu@gmail.com;

Alexander A. Kalgin — Vice president; **Russian Academy of Engineering (RAE)**; build. 4, 9 Gazetny lane, Moscow, 125009, Gazetny lane, Russian Federation; alexander.kalgin@mail.ru;

Evgeniy E. Shmoilov — Chief expert of the Research and Development Department; **Joint-stock company “Prepreg – Advanced Composite Materials”**; build. 5, 42 Volgogradsky prospekt, Moscow, 109316, Russian Federation; e.shmoilov@umatex.ru;

Pavel D. Kapyrin — Head of Scientific and Technical Management; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; kapyrin@mgsu.ru;

Oleg A. Kornev — Deputy director of the Research Institute of Experimental Mechanics; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; i@okornev.ru.

Authors' contributions:

Mikhail Yu. Fedotov — writing an introduction, processing research results.

Alexander A. Kalgin — writing an introduction, processing research results, scientific editing of the text.

Evgeniy E. Shmoilov — processing of research results, scientific editing of the text.

Pavel D. Kapyrin — scientific editing of the text, project management.

Oleg A. Kornev — writing conclusions, project management.

The authors declare no conflict of interest.

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 625.7

DOI: 10.22227/1997-0935.2024.1.115-127

Моделирование управляющих воздействий на эксплуатационной стадии жизненного цикла автомобильных дорог

Артем Николаевич Тиратуриян

Донской государственный технический университет (ДГТУ); г. Ростов-на-Дону, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Одной из сложных проблем управления дорожными активами является отсутствие единых интегральных показателей их состояния, учитывающих одновременно изменение продольной ровности покрытия, визуального состояния и общего модуля упругости на эксплуатационной стадии жизненного цикла (ЖЦ) автомобильной дороги. Их отсутствие приводит к невозможности эффективного моделирования различных сценариев изменения эксплуатационного состояния дороги при осуществлении управляющих воздействий в виде работ по содержанию, ремонту капитальному ремонту. Цель исследования — выработка данного критерия и формулирование основ для моделирования различных сценариев применения управляющих воздействий на эксплуатационной стадии ЖЦ.

Материалы и методы. В качестве основного показателя состояния автомобильной дороги на эксплуатационной стадии ЖЦ используется интегральный уровень сохранности, представляющий собой произведение долей участка автомобильной дороги, находящихся в удовлетворительном состоянии, по показателям — общий модуль упругости на поверхности дорожной одежды, продольная ровность и визуальное состояние. Для обоснования применимости данного показателя и развития методики моделирования управляющих воздействий используется аппарат теории надежности и математической статистики.

Результаты. На основе зависимостей, характеризующих изменение каждого из показателей в течение срока службы с учетом предположения о нормальном характере их распределения, получена проектная кривая изменения интегрального уровня сохранности для автомобильных дорог с интенсивным движением. Рассмотрены различные сценарии назначения управляющих воздействий и показано их влияние на величину интегрального уровня сохранности автомобильной дороги.

Выводы. Установлено, что для ряда случаев восстановление потребительских свойств автомобильной дороги без восстановления несущей способности не обеспечит продление срока службы. Выполнено моделирование различных сценариев назначения управляющих воздействий в виде работ по содержанию, ремонту и капитальному ремонту. Определены перспективы применения предложенного подхода, связанные с использованием аппарата теории эффективности технических систем.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: автомобильные дороги, эксплуатационная стадия жизненного цикла, уровень сохранности, управляющие воздействия, сценарии, эксплуатационные параметры, стратегии ремонтных работ

Благодарности. Исследования проводятся в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых — кандидатов наук (заявка МК-242.2022.4). Автор выражает благодарность рецензентам за время и силы, потраченные на рассмотрение данной статьи.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Тиратуриян А.Н. Моделирование управляющих воздействий на эксплуатационной стадии жизненного цикла автомобильных дорог // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19. Вып. 1. С. 115–127. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.1.115-127

Автор, ответственный за переписку: Артем Николаевич Тиратуриян, tiraturjan@list.ru.

Modelling of control actions at the operational stage of the life cycle of roads

Artem N. Tiraturyan

Don State Technical University (DSTU); Rostov-on-Don, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. One of the complex problems of road asset management is the lack of unified “integral” indicators of their condition, which simultaneously take into account the change in the longitudinal smoothness of the road surface, visual

condition, and the general modulus of elasticity at the operational stage of the road life cycle. Their absence leads to the impossibility of effective modelling of various scenarios of changes in the operational condition of the road when various kinds of control actions in the form of maintenance, repair and overhaul are carried out. The purpose of this study is to develop this criterion and formulate the basis for modelling various scenarios for the application of control actions at the operational stage of the life cycle.

Materials and methods. As the main indicator of the road condition at the operational stage of the life cycle, it is proposed to use the integral level of safety, which is the product of the shares of the road section that are in satisfactory condition according to the indicators — the general modulus of elasticity on the surface of the pavement, longitudinal smoothness and visual condition. To substantiate the applicability of this indicator and develop a methodology for modelling control actions, the apparatus of the theory of reliability and mathematical statistics is used.

Results. Based on the dependencies characterizing the change in each of these indicators during the service life, taking into account the assumption of the normal nature of their distribution, the design curve of change of the integral level of safety for highways with heavy traffic (> 5,000,000 applications of the design load for the service life) was obtained. Various scenarios for assigning control actions are considered and their influence on the value of the integral level of road safety is shown. It is shown that for a number of cases, the restoration of the consumer properties of the road without the restoration of the bearing capacity will not provide an extension of the service life. Modelling of various scenarios for the assignment of control actions in the form of maintenance, repair and overhaul work was carried out based on the indicator — the integral level of safety.

Conclusions. It is shown that for a number of cases the restoration of the consumer properties of the road without the restoration of the bearing capacity will not provide service life extension. Modelling of various scenarios for the assignment of control actions in the form of maintenance, repair and overhaul has been carried out. The prospects of application of the given approach connected with the use of the apparatus of the theory of efficiency of technical systems are determined.

KEYWORDS: highways, operational stage of the life cycle, level of safety, control actions, scenarios, operational parameters, repair strategies.

Acknowledgements. The research is carried out within the framework of the grant of the President of the Russian Federation for state support of young Russian scientists — candidates of science (application MK-242.2022.4). The author also expresses his sincere gratitude to the respected reviewers for the time and effort spent on the review of this article.

FOR CITATION: Tiraturyan A.N. Modelling of control actions at the operational stage of the life cycle of roads. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2024; 19(1):115-127. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.1.115-127 (rus.).

Corresponding author: Artem N. Tiraturyan, tiraturjan@list.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие механизмов эффективного управления состоянием автомобильных дорог является важной технической и экономической задачей. Ее сложность продиктована тем, что для автомобильной дороги достаточно трудно сформулировать четкий критерий отказа в форме «все или ничего», так как даже необеспеченность фактической жесткости дорожной конструкции может не снижать фактическую безопасность движения, если ремонтные мероприятия выполняются с периодом меньше директивного срока. Однако это многократно увеличивает финансовые затраты на обеспечение нормативного состояния автомобильной дороги, что делает процесс постоянного выполнения ремонтов малоэффективным. Также нельзя не отметить, что в соответствии с Постановлением Правительства от 30.05.2017 № 658 срок между ремонтами на автомобильных дорогах I–IV категории составляет 12 лет, а между капитальными ремонтами — 24 года, что не позволяет проводить ремонтные работы с привлечением бюджетного финансирования вне пределов установленных сроков. Таким образом, задача рационального и эффективного планирования ремонтных работ — непростая и требует привлечения новых подходов и показателей, характеризующих состояние автомобильной дороги (в первую очередь ее основного элемента — дорожной одежды), а также разработки подхода к оценке эффективности реализации различных видов управляющих воздействий.

Решению подобной задачи посвящено большое количество трудов отечественных и зарубежных ученых [1–5]. Так, в практике РФ длительное время основной упор при выборе и планировании мероприятий по восстановлению эксплуатационных качеств автомобильных дорог делался на систему коэффициентов обеспеченности расчетной скорости K_{pci} ($i = 1–9$), где каждый коэффициент характеризовал влияние определенного структурного или эксплуатационного фактора автомобильной дороги на снижение расчетной скорости пользователем [6–9]. В последние годы явно наметилась тенденция возвращения к более простым показателям назначения вида управляющих воздействий. В частности, капитальный ремонт назначают, когда:

$$K_{np} < 1,$$

где $K_{np} = E_{\phi} / E_{tr}$; E_{ϕ} — фактический общий модуль на поверхности дорожной одежды автомобильной дороги; E_{tr} — требуемый общий модуль упругости.

Ремонт назначается в случае, когда фактическое значение международного индекса продольной ровности IRI превышает требования соответствующего ГОСТ. Вместе с тем охарактеризовать состояние дороги в терминах «больше или меньше нормативного показателя» бывает сложно, так как дорога, удовлетворяющая требованиям по фактической ровности, может не соответствовать требованию по коэффициенту запаса прочности, и наоборот. Также, являясь линейно протяженной конструкцией, автомобильная дорога может характеризоваться достаточно высокой разнородностью показателей

по длине, что приводит либо к чрезвычайно высокой дискретности назначения характерных участков и видов работ на них, либо к необоснованному назначению конкретного вида ремонтных работ.

В мировой практике применяемые показатели состояния дорожной одежды автомобильной дороги, как правило, разделяются на эксплуатационные, структурные и комбинированные [10]. Примерами эксплуатационных показателей служат признанный во всем мире индекс продольной ровности покрытия — IRI, показатель комфортности движения — RCI (ride comfort index), число движения — RN (ride number). К структурным показателям можно отнести показатели индекса структурной жесткости — SSIF (structural strength index), структурное число — SN (structural number), индекс структурного состояния — SCI (structural condition index) [11–15].

К комбинированным показателям относят также показатели, учитывающие виды дефектов и их веса, т.е. тяжесть каждого конкретного дефекта. В качестве таких показателей можно выделить индекс состояния дорожной одежды — PCI (pavement condition index), индекс качества дорожной одежды — PQI (pavement quality index), индекс структурной адекватности — SCI (structural adequacy index), индекс разрушений покрытия — SDI (surface distress index) [16–21].

PQI — один из наиболее интересных комбинированных показателей, рассчитывается следующим образом:

$$PQI = \sqrt{RQI \cdot SR},$$

где RQI — индекс качества движения (ride quality index); SR — рейтинг покрытия.

Показатели, учитываемые в данной зависимости, определяются в соответствии с методикой MnDOT [22–24]. Индекс качества движения RQI и рейтинг покрытия SR оцениваются по пяти- и четырехбалльной шкале соответственно в зависимости от фактической ровности покрытия (IRI), а также видов и весов дефектов, наблюдаемых на покрытии. С точки зрения теории надежности такой вид зависимости описывает надежность технической системы, состоящей из двух равнозначных элементов.

Все описанные выше показатели характеризуют состояние дороги на сетевом уровне, т.е. служат в первую очередь для решения задач планирования сроков и видов управляющих воздействий на эксплуатационной стадии жизненного цикла (ЖЦ) автомобильной дороги. Вместе с тем как в отечественной, так и в мировой практике не прослеживается единых подходов к оценке эффективности различных стратегий управляющих воздействий на эксплуатационное состояние автомобильных дорог, учитывающих интегральные критерии их состояния.

Цель исследования — выработка теоретических основ нового подхода к анализу эксплуатационной стадии ЖЦ дороги и анализ различных сценариев назначения управляющих воздействий как в проектом случае, так и для фактически экс-

плуатируемой автомобильной дороги. Гипотеза исследования заключается в том, что эффективное и рациональное планирование различных сценариев обеспечения эксплуатационной надежности автомобильной дороги должно базироваться на моделировании различных видов управляющих воздействий на основе интегрального показателя сохранности автомобильной дороги, объединяющего такие факторы, как ее коэффициент прочности, продольную ровность, средний балл по визуальной оценке.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Состояние дороги будем описывать на основе интегрального уровня сохранности $P_{\text{сох}}$ [25–28], представляющего собой произведение частных показателей, т.е. доли протяженности участков автомобильных дорог, находящихся в удовлетворительном состоянии по показателю коэффициент прочности $P_{\text{проч}}$, показателю фактическая продольная ровность покрытия $P_{\text{ров}}$ и показателю фактическое визуальное состояние $P_{\text{в.оц}}$:

$$P_{\text{сох}} = P_{\text{проч}} \cdot P_{\text{ров}} \cdot P_{\text{в.оц}};$$

$$P_{\text{проч}} = 1 - \frac{L_{\text{неуд.пр}}}{L};$$

$$P_{\text{ров}} = 1 - \frac{L_{\text{неуд.ров}}}{L};$$

$$P_{\text{в.оц}} = 1 - \frac{L_{\text{неуд.в.оц}}}{L},$$

где $L_{\text{неуд.пр}}$ — протяженность участка с неудовлетворительным коэффициентом прочности ($K_{\text{пр}} < 1$); $L_{\text{неуд.ров}}$ — протяженность участка с неудовлетворительным показателем ровности по IRI ($\text{IRI} > 4$); $L_{\text{неуд.в.оц}}$ — протяженность участка с неудовлетворительным средним баллом по визуальной оценке ($B_{\text{ср}} < 3$).

Предлагаемая категоризация состояний, исходя из которых назначаются управляющие воздействия, приведена в табл. 1.

Практическое применение группы данных показателей в задаче оценки состояния автомобильной дороги и назначения управляющих воздействий требует прогнозирования изменения как частных параметров сохранности автомобильной дороги, так и интегрального уровня ее сохранности. Для этой цели в предположении о нормальности закона изменения этих параметров будем использовать стандартную зависимость:

$$P = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{X - \bar{X}}{\sigma_{\text{ст}}}\right), \quad (1)$$

где X — наблюдаемое значение характеристики; $\bar{X}$ — среднее значение характеристики; $\sigma_{\text{ст}}$ — стандартное отклонение.

В качестве наблюдаемого и среднего значения могут быть использованы значения коэффициента прочности, показателя продольной ровности покры-

Табл. 1. Интегральный уровень сохранности и рекомендуемые виды управляющих воздействий
Table 1. Integral level of safety and recommended types of control actions

Интегральный уровень сохранности Integral level of safety	Диапазон значений Value range	Управляющее воздействие Control variable
Отличный Very good	1–0,86	Дорожная одежда не имеет повреждений. Допускается выполнение работ по содержанию в соответствии с нормативными сроками или с превышением нормативных сроков The pavement has no damage. It is allowed to perform maintenance work in accordance with the regulatory deadlines, or in excess of the regulatory deadlines
Хороший Good	0,85–0,71	Дорожная одежда имеет незначительные дефекты покрытия. Выполнение работ по содержанию осуществляется в соответствии с нормативными сроками The pavement has minor pavement defects. Maintenance work is carried out in accordance with the regulatory deadlines
Удовлетворительный Satisfactorily	0,70–0,56	Дорожная одежда имеет дефекты, связанные с износом верхних слоев покрытий. Требуется проведение работ по восстановлению верхнего слоя покрытия The pavement has defects associated with the wear of the upper layers of coatings. Requires work to restore the top layer of the coating
Неудовлетворительный Unsatisfactory	0,55–0,41	На покрытии дорожной одежды присутствуют дефекты, связанные с потерей несущей способности покрытия и основания. Требуется выполнения работ по ремонту с локальным усилением слоев основания There are defects on the pavement coating associated with the loss of the bearing capacity of the pavement and base. Requires repair work with local strengthening of the base layers
Низкий Low	0,40–0,26	На покрытии присутствуют критические дефекты в виде сетки трещин, глубокой колеи, снижена несущая способность дорожной конструкции. Необходим капитальный ремонт There are critical defects on the pavement in the form of a network of cracks, deep ruts, and the bearing capacity of the road structure is reduced. A major overhaul is required
Критически низкий Very low	0,25–0	На покрытии присутствуют критические дефекты в виде сетки трещин, глубокой колеи, просадок, снижена несущая способность всех слоев дорожной одежды. Необходимо проведение капитального ремонта с полной разборкой существующей конструкции There are critical defects on the pavement in the form of a network of cracks, deep ruts, subsidence, and the bearing capacity of all layers of the pavement is reduced. It is necessary to carry out a major overhaul with a complete disassembly of the existing structure

тия дороги в единицах IRI и среднего балла по визуальной оценке.

На данный момент прогнозирование изменения несущей способности дорожной конструкции может выполняться по следующей зависимости:

$$E_{\text{тр}} = \sqrt{\frac{P}{600}} \cdot 98,65 \times \left(\lg \left(0,7 \cdot N_p \cdot T_{\text{рлг}} \frac{q^{T_{\text{сл}}} - 1}{(q - 1)q^{T_{\text{сл}} - 1}} \right) - C \right), \tag{2}$$

где p — расчетное давление ($p = 800$ кПа); N_p — расчетная интенсивность движения, авт/сут; $T_{\text{рлг}}$ — количество расчетных дней в году; q — коэффициент прироста интенсивности движения; $T_{\text{сл}}$ — срок службы дорожной конструкции.

Следует отметить, что дальнейшие выкладки и кривые изменения состояния частных показателей сохранности будут построены для дорог с достаточно высокой интенсивностью движения, характеризваемой суммарным числом приложений расчетной нагрузки более 10 млн приложений за срок службы. На основе данной зависимости были рассчитаны значения модулей упругости на каждый год эксплуатации в течение всего 24-летнего периода ($E_{1\text{год}}^{\text{пр}} \dots E_{T_{\text{сл}}}^{\text{пр}}$). После чего рассчитаны значения изменения коэффициента прочности на каждый год эксплуатации $K_{\text{пр}} = \frac{E_{1\text{год}}^{\text{пр}}}{E_{T_{\text{сл}}}^{\text{пр}}}$. График изменения коэффициентов прочности и надежности приведен на рис. 1, 2.

В качестве проектной зависимости для построения аналогичной кривой изменения продольной ровности покрытия принята зависимость (3) по СТО АВТОДОР 2.28–2016 «Прогнозирование

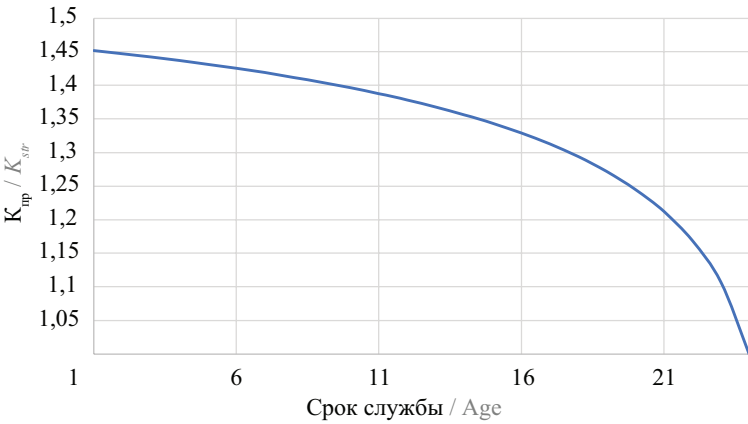


Рис. 1. Кривая снижения фактического коэффициента прочности на эксплуатационной стадии жизненного цикла автомобильной дороги

Fig. 1. Curve of the decrease in the actual coefficient of strength at the operational stage of the life cycle of the highway

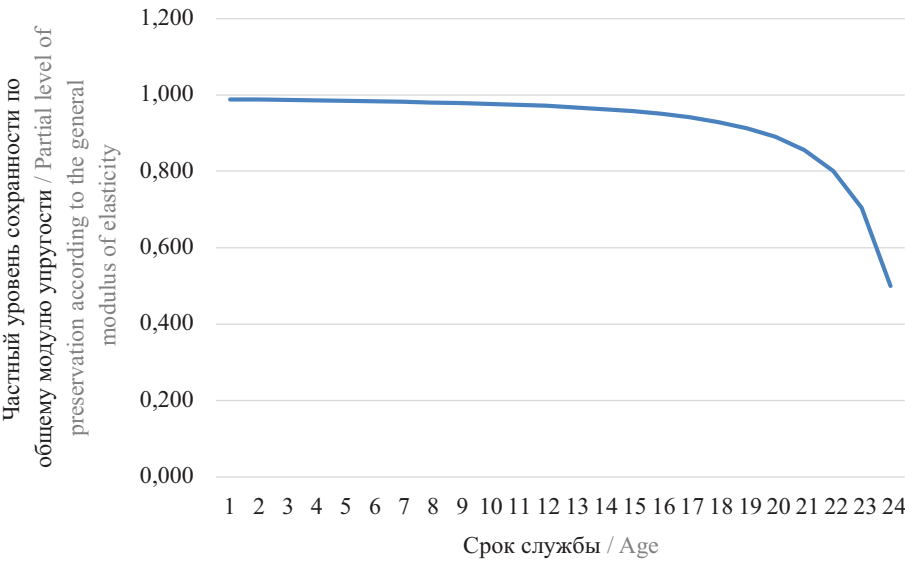


Рис. 2. Кривая снижения фактического коэффициента надежности на эксплуатационной стадии жизненного цикла автомобильной дороги

Fig. 2. Curve of decrease in the actual coefficient of strength at the operational stage of the life cycle of the highway

состояния эксплуатируемых автомобильных дорог государственной компании “Автодор”»:

$$IRI = IRI_0 + a \sum_{i=1}^{T_{ср}} N_{факт}^b, \tag{3}$$

где $N_{факт}$ — фактическое число проходов автомобилей; a, b — эмпирические коэффициенты, принимаемые в зависимости от материала слоев основания дорожной конструкции, для асфальтобетонных слоев, лежащих на укрепленном основании, — 0,112 и 0,874 соответственно; для асфальтобетонных слоев, лежащих на неукрепленном основании, — 0,096 и 1,017 соответственно. Прогнозные кривые изменения продольной ровности покрытия и частного уровня надежности по продольной ровности приведены на рис. 3, 4.

Прогнозирование среднего балла по визуальной оценке — сложная задача, так как зависимостей для прогнозирования дефектов определенных видов

с учетом показателей прочности или ровности в строительной практике нет. Однако может быть использована взаимосвязь между показателем остаточного ресурса и видом дефектов на поверхности покрытия, установленная в СТО АВТОДОР 2.4–2013 (табл. 2).

Зависимость, характеризующая изменение среднего балла по визуальной оценке, в течение срока службы автомобильной дороги, построенная на основе данных табл. 1, приведена на рис. 5. Рассчитанная согласно данному графику надежность в соответствии с зависимостью (3) представлена на рис. 6.

Каждый из приведенных графиков характеризует проектное изменение частного показателя сохранности автомобильной дороги без учета влияния возможных управляющих воздействий. Определив их произведение, получим проектную кривую изменения интегрального уровня сохранности автомобильных дорог с высокой интенсивностью движения (рис. 7).

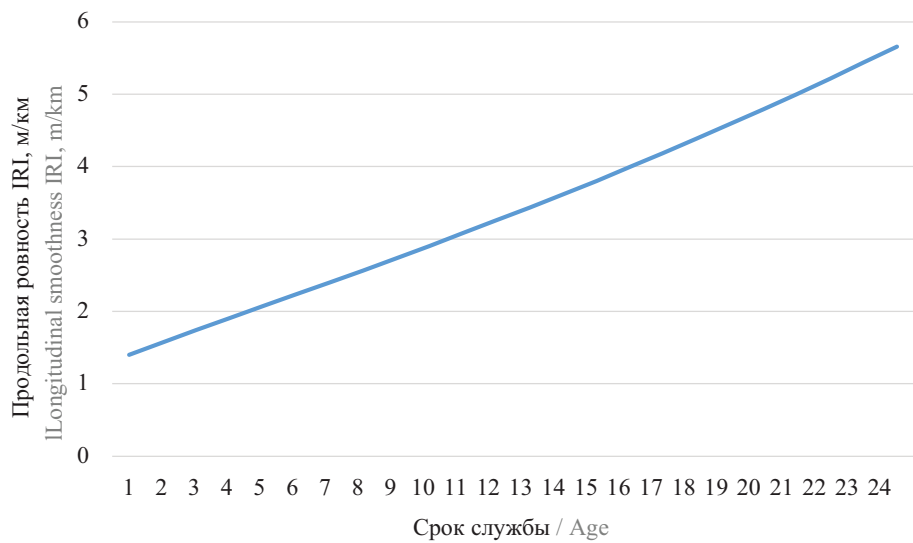


Рис. 3. Прогноз продольной ровности покрытия дорожной одежды (при начальной ровности IRI = 1,2 м/км, средней ровности IRI_{ср} = 4 м/км)

Fig. 3. Forecast of the longitudinal smoothness of the pavement (with initial smoothness IRI = 1.2 m/km, average smoothness IRI_{sr} = 4 m/km)

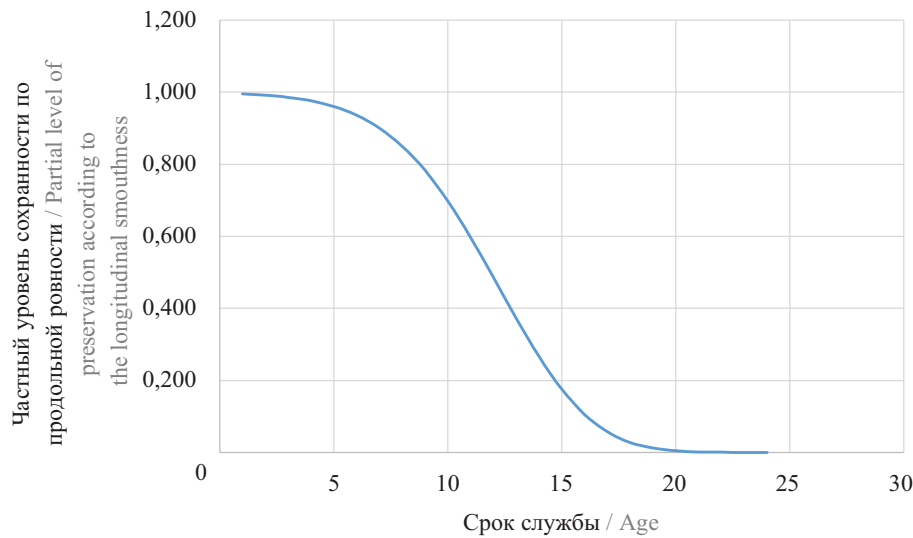


Рис. 4. Изменение надежности дорожной одежды по продольной ровности покрытия (при начальной ровности IRI = 1,2 м/км, средней ровности IRI_{ср} = 4 м/км)

Fig. 4. Change in the reliability of pavement along the longitudinal smoothness of the pavement (with initial smoothness IRI = 1.2 m/km, average smoothness IRI_{sr} = 4 m/km)

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Рассмотрим возможность моделирования различных вариантов управляющих воздействий на изменение срока службы эксплуатируемого участка автомобильной дороги. Для этого будем предполагать, что выполнение работ по ремонту покрытия будет восстанавливать продольную ровность покрытия и визуальное состояние до 1. Выполнение работ по замене слоев износа в соответствии с работой [29] на 5-й год службы автомобильной дороги обеспечивает улучшение показателя IRI на 0,4–0,5 м/км.

В качестве основных будем рассматривать следующие варианты:

- Стратегия 1 — не выполняются работы по обеспечению сохранности дорожной одежды.
 - Стратегия 2 — базовый проектный ремонт на 12-й год срока службы.
 - Стратегия 3 — усовершенствованный проектный — выполнение восстановления слоев износа каждые 5 лет, ремонт на 12-й год, последующее проведение работ по устройству слоев износа каждые 5 лет.
 - Стратегия 4 — осуществление работ по содержанию дорожной одежды каждые 5 лет, без выполнения ремонта.
- Результаты моделирования каждого описанного сценария представлены на рис. 8.

Табл. 2. Зависимость остаточного ресурса от среднего балла по визуальной оценке

Table 2. Dependence of the residual resource on the average score according to visual assessment

Вид дефекта Defect type	B_{av}^{cp}	Остаточный ресурс, % Residual life, %	Срок эксплуатации Service life
Отсутствует Missing	5	100	1
Одиночные поперечные трещины на расстоянии 20–40 м Single transverse cracks at a distance of 20–40 m	$\geq 4,8$	85	4
Отдельные поперечные трещины на расстоянии 10–20 м; продольная центральная трещина; колейность до 15 мм Separate transverse cracks at a distance of 10–20 m; Longitudinal central crack; Rutting up to 15 mm	$\geq 4,5$	75	6
Редкие поперечные трещины на расстоянии 8–10 м; колейность до 20 мм Rare transverse cracks at a distance of 8–10 m; Rutting up to 20 mm	$\geq 4,0$	65	8
Редкие поперечные трещины на расстоянии 5–8 м; продольные боковые трещины; колейность до 25 мм Rare transverse cracks at a distance of 5–8 m; Longitudinal side cracks; Rutting up to 25 mm	$\geq 3,5$	45	13
Частые поперечные трещины на расстоянии 3–5 м; колейность до 30 мм; одиночная сетка трещин на площади более 5 % Frequent transverse cracks at a distance of 3–5 m; Rutting up to 30 mm; Single grid of cracks over an area of more than 5 %	$\geq 3,0$	25	18
Одиночная сетка трещин на площади более 5 % Single grid of cracks over an area of more than 5 %	$< 2,5$	0	24

Применение предлагаемого подхода для моделирования на основе показателя интегрального уровня сохранности позволяет учитывать негативное влияние снижения общего модуля упругости дорожной одежды, которое не устраняется выполнением работ по ремонту и содержанию автомо-

бильной дороги. Видно, что стратегия 3 допускает возможность выполнения на 24-й год еще одного ремонта вместо капитального ремонта, однако его эффективность предположительно будет ограничена 3–4 годами в связи с низким значением фактической прочности. В таком случае решение о по-

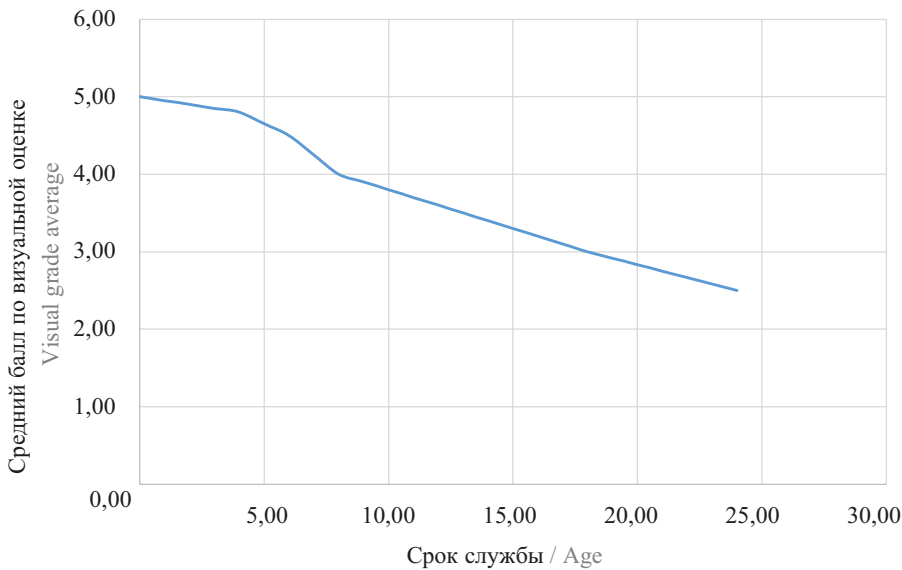


Рис. 5. Проектная кривая изменения среднего балла по визуальной оценке состояния покрытия

Fig. 5. Design curve of change in the average score, according to visual assessment, the state of the coating

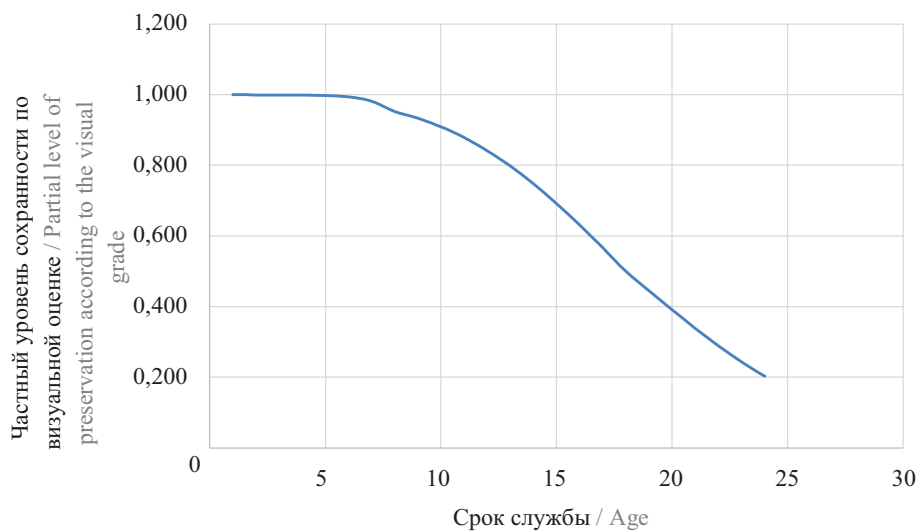


Рис. 6. Проектная кривая изменения надежности по визуальной оценке состояния покрытия (при среднем значении балла по визуальной оценке 3)

Fig. 6. Design curve of change in reliability, according to visual assessment, the state of the coating (with an average visual assessment score of 3)

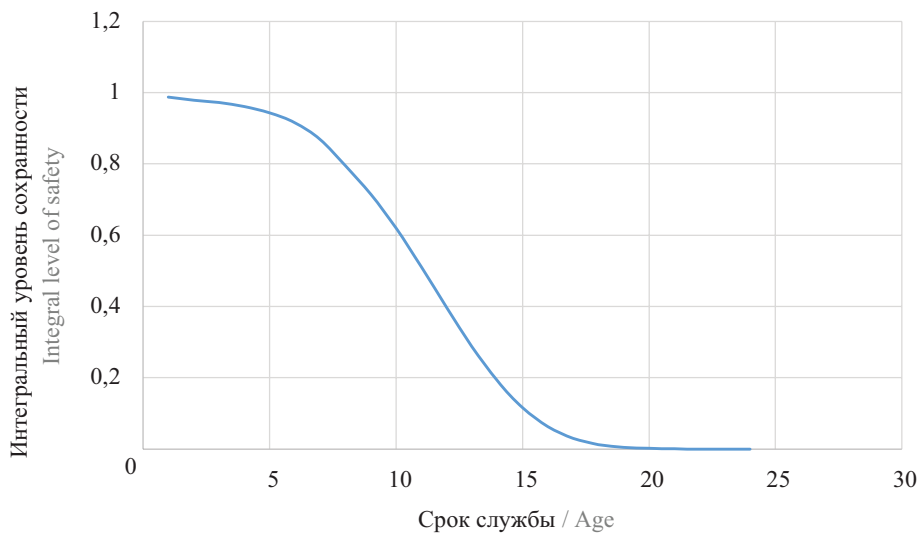


Рис. 7. Проектная кривая изменения интегрального уровня сохранности автомобильной дороги в течение ее срока службы

Fig. 7. Design curve of changes in the integral level of safety of the road during its service life

добном способе продления межремонтного срока службы целесообразно принимать на основе технико-экономического сравнения дисконтированных затрат, связанных с проведением соответствующих ремонтных работ.

Рассмотрим различные стратегии восстановления для эксплуатируемого участка. В качестве тестового выбран эксплуатируемый участок автомобильной дороги М-4 «Дон». Данный участок дороги был реконструирован в 2013 г. После окончания реконструкции на нем осуществлена оценка интегрального уровня сохранности на 1-й год срока службы, а также на 2-й и 4-й год его эксплуатации (соответственно в 2015 и 2017 гг.). Результаты оценки интегральной сохранности приведены в табл. 3.

Очевидно, что в наибольшей степени отклонение фактического интегрального уровня сохранности от проектной кривой связано с ухудшением общего модуля упругости (рис. 9). Замена слоев износа, как и выполнение внепланового ремонта, не позволит вернуть функционирование конструкции в «проектное» русло, так как улучшение продольной ровности покрытия и визуального состояния будет нивелироваться снижением общего модуля упругости, учитываемого в дальнейших вычислениях в виде регрессионной зависимости.

В качестве наиболее предпочтительных вариантов выглядит выполнение внепланового капитального ремонта на 7-й год эксплуатации автомобильной дороги с последующим восстановлением

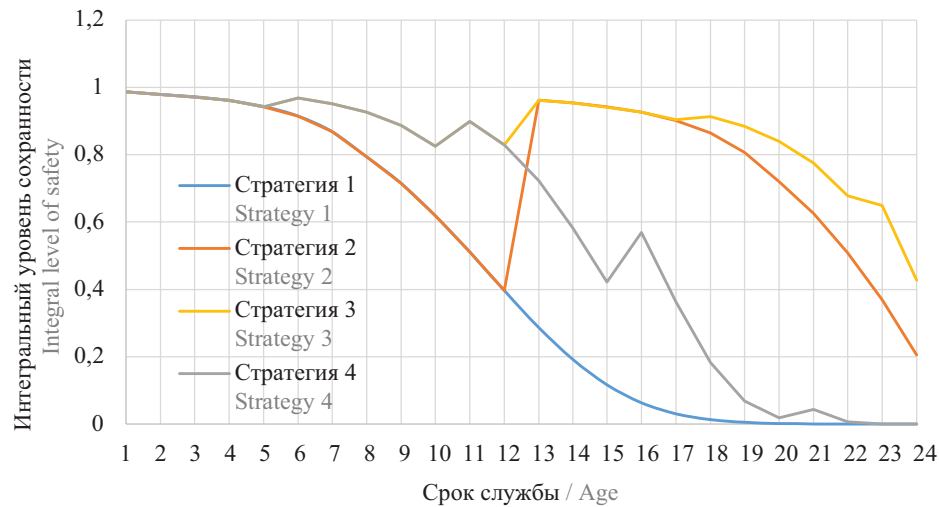


Рис. 8. Моделирование различных сценариев обеспечения сохранности автомобильной дороги на эксплуатационной стадии жизненного цикла при изменении эксплуатационных показателей автомобильной дороги в проектных рамках
 Fig. 8. Modelling of various scenarios for ensuring the safety of the highway at the operational stage of the life cycle when the operational indicators of the highway change within the project framework

Табл. 3. Данные об уровне сохранности эксплуатируемого участка дороги М-4 «Дон»
 Table 3. Data on the level of preservation of the maintained section of the M4 “Don” highway

Год Year	$P_{\text{проч}}$ P_{str}	$P_{\text{ров}}$ P_{roug}	$P_{\text{в.оц}}$ $P_{\text{vis.c}}$	$P_{\text{сох}}$ P_{saf}
2013	1,000	1,000	0,999	1,00
2015	0,990	0,992	0,999	0,98
2017	0,860	0,976	0,999	0,84

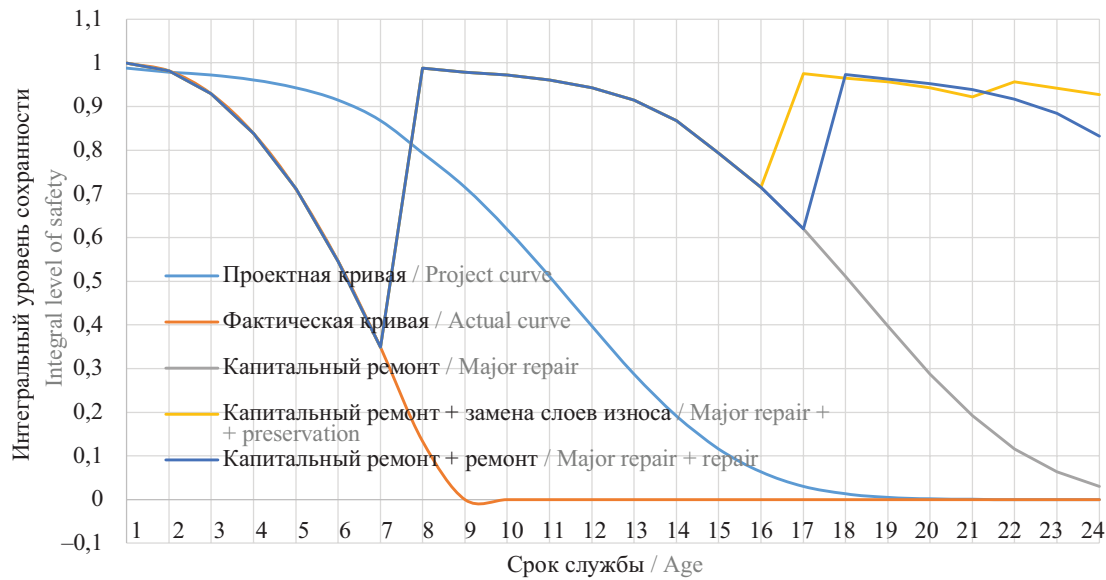


Рис. 9. Моделирование различных сценариев обеспечения сохранности автомобильной дороги на эксплуатационной стадии жизненного цикла с учетом фактического состояния участка автомобильной дороги М-4 «Дон»
 Fig. 9. Modelling of various scenarios for ensuring the safety of the highway at the operational stage of the life cycle, taking into account the actual state of the section of the M4 “DON” highway

изношенных слоев покрытия в рамках работ по замене слоев износа на 16-й и 22-й год эксплуатации, либо выполнение работ по капитальному ремонту на 7-й год эксплуатации и ремонту на 17-й год.

Окончательно решение может быть принято только на основе экономических расчетов.

С помощью предложенного подхода впервые в отечественной практике разработаны различные варианты обеспечения сохранности автомобильной дороги на основе интегрального уровня сохранности. Главным достоинством этого подхода является его соответствие традиционным практикам обследования автомобильных дорог, принятых в РФ, а также учет основных показателей как структурного, так и эксплуатационного состояния дорожной одежды автомобильной дороги, на уровне современных структурных и комбинированных показателей состояния дорог, используемых в мировой практике. Ключевые перспективы развития данного подхода связаны с учетом экономического эффекта от различных видов управляющих воздействий, а также с постановкой оптимизационной задачи поиска наиболее рационального сценария обеспечения долговечности автомобильной дороги.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Предложенный новый показатель состояния автомобильных дорог и подход к прогнозированию на его основе управляющих воздействий в течение эксплуатационной стадии ЖЦ автомобильной дороги имеет ряд преимуществ перед существующими. Показано, что эффективное и рациональное планирование разных сценариев обеспечения эксплуатационной надежности автомобильной дороги может базироваться на моделировании различных видов управляющих воздействий на основе интегрального показателя сохранности автомобильной дороги, объединяющего такие факторы, как коэффициент прочности, продольная ровность, средний балл по визуальной оценке. В первую очередь, этот

показатель учитывает вероятность безотказной работы обследуемого участка автомобильной дороги, опираясь именно на статистическую оценку, рассчитанную по основным эксплуатационным свойствам любой дороги — визуальному состоянию, общему модулю упругости на поверхности и продольной ровности. Также данный показатель целесообразно отнести к комбинированным видам как объединяющий в себе структурные характеристики дорожной одежды автомобильной дороги — жесткость и виды дефектов, так и чисто пользовательский параметр — продольную ровность покрытия.

Разработанный на базе моделей изменения общего модуля упругости, продольной ровности и визуального состояния автомобильной дороги подход к прогнозированию выполнения различных видов ремонтных работ позволяет смоделировать их влияние на величину интегрального уровня сохранности дороги. При этом выгодным его отличием от других прогнозных методов является постоянный учет снижения общего модуля упругости на поверхности дорожной одежды автомобильной дороги, как показателя, не восстанавливаемого в ходе работ по ремонту и содержанию, в виде замены слоев износа или восстановления изношенного покрытия. Перспективность применения данного показателя и подхода к моделированию различных сценариев управляющих воздействий обусловлена тем, что она может быть увязана с аппаратом теории надежности, т.е. по мере накопления сведений об изменении эксплуатационного состояния автомобильной дороги может быть применен аппарат анализа эффективности функционирования технических систем [30]. Также в рамках каждого из сценариев могут быть в значительной степени детализированы финансовые оценки различных стратегий управляющих воздействий и выбраны оптимальные.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Леонович И.И., Новгородский Я.Я., Буртыль Ю.В.* Транспортно-эксплуатационное состояние сети республиканских автомобильных дорог и основные направления повышения их качества // Вестник Белорусского национального технического университета. 2008. № 6. С. 56–63. EDN VVALSN.
2. *Красиков О.А.* Оптимальные значения // Автомобильные дороги. 2021. № 9 (1078). С. 134–137. EDN ZZMBRJ.
3. *Кириллов А.М., Завьялов М.А.* Прогнозирование остаточного срока службы асфальтобетонных покрытий // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. № 3 (114). С. 356–367. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.3.356-367
4. *Elhadidy A.A., El-Badawy S.M., Elbeltagi E.E.* A simplified pavement condition index regression model for pavement evaluation // International Journal of Pavement Engineering. 2021. Vol. 22.

Issue 5. Pp. 643–652. DOI: 10.1080/10298436.2019.1633579

5. *Fakhri M., Dezfoulian R.S.* Pavement structural evaluation based on roughness and surface distress survey using neural network model // Construction and Building Materials. 2019. Vol. 204. Pp. 768–780. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.01.142

6. *Васильев А.П.* Целевые показатели оценки результативности модернизации, ремонта и содержания автомобильных дорог // Наука и техника в дорожной отрасли. 2005. № 1 (32). С. 5–8. EDN OIJYPF.

7. *Васильев А.П., Ефименко В.Н.* К обоснованию протяжения автомобильных дорог, подлежащих реконструкции, модернизации, капитальному ремонту и ремонту, в субъектах федерации // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2014. № 6 (47). С. 157–167. EDN TBZNID.

8. Углова Е.В., Саенко С.С. Обзор инструментов управления состоянием дорожных конструкций // Транспортные сооружения. 2016. Т. 3. № 1. С. 6. EDN WKTSFF.
9. Тиратурян А.Н., Белоусов Е.С., Шамалов В.Ю. Имитационное моделирование ухудшения эксплуатационного состояния нежестких дорожных конструкций на основе вероятностного подхода // Инженерный вестник Дона. 2016. № 3 (42). С. 65. EDN YGSTBV.
10. Jiang X., Gabrielson J., Huang B., Bai Y., Polaczyk P., Zhang M. et al. Evaluation of inverted pavement by structural condition indicators from falling weight deflectometer // Construction and Building Materials. 2022. Vol. 319. Pp. 125991. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.125991
11. Rabbi M.F., Mishra D. Using FWD deflection basin parameters for network-level assessment of flexible pavements // International Journal of Pavement Engineering. 2021. Vol. 22. Issue 2. Pp. 147–161. DOI: 10.1080/10298436.2019.1580366
12. Jing C., Zhang J., Song B. An innovative evaluation method for performance of in-service asphalt pavement with semi-rigid base // Construction and Building Materials. 2020. Vol. 235. P. 117376. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.117376
13. Vyas V., Singh A.P., Srivastava A. Entropy-based fuzzy SWOT decision-making for condition assessment of airfield pavements // International Journal of Pavement Engineering. 2021. Vol. 22. Issue 10. Pp. 1226–1237. DOI: 10.1080/10298436.2019.1671590
14. Bosurgi G., Pellegrino O., Sollazzo G. Pavement condition information modelling in an I-BIM environment // International Journal of Pavement Engineering. 2022. Vol. 23. Issue 13. Pp. 4803–4818. DOI: 10.1080/10298436.2021.1978442
15. Vyas V., Singh A.P., Srivastava A. Prediction of asphalt pavement condition using FWD deflection basin parameters and artificial neural networks // Road Materials and Pavement Design. 2021. Vol. 22. Issue 12. Pp. 2748–2766. DOI: 10.1080/14680629.2020.1797855
16. Wang J., Chen M., Gao W., Guo Z., Liu Y. A comparison of network level pavement condition assessment in road asset management // International Journal of Transportation Engineering and Technology. 2020. Vol. 6. Issue 3. P. 95. DOI: 10.11648/j.ijtet.20200603.14
17. Kumar R., Suman S.K. Development of overall pavement condition index for maintenance strategy selection for Indian highways // International Journal of System Assurance Engineering and Management. 2022. Vol. 13. Issue 2. Pp. 832–843. DOI: 10.1007/s13198-021-01344-z
18. Issa A., Sammaneh H., Abaza K. Modeling pavement condition index using cascade architecture: classical and neural network methods // Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering. 2022. Vol. 46. Issue 1. Pp. 483–495. DOI: 10.1007/s40996-021-00678-9
19. Han C., Fang M., Ma T., Cao H., Peng H. An intelligent decision-making framework for asphalt pavement maintenance using the clustering-PageRank algorithm // Engineering Optimization. 2020. Vol. 52. Issue 11. Pp. 1829–1847. DOI: 10.1080/0305215X.2019.1677636
20. Ndume V., Mlavi E., Mwaipungu R. Development of road pavement condition index using combined parameters // Civil Engineering Research. 2020. Vol. 10. Issue 3. Pp. 53–62. DOI: 10.5923/j.jce.20201003.01
21. Kravcovas I., Vaitkus A., Kleizienė R. Comparison of pavement performance models for urban road management system // The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering. 2020. Vol. 15. Issue 3. Pp. 111–129. DOI: 10.7250/bjrbe.2020-15.487
22. Mubarak M., Sallam H. The most effective index for pavement management of urban major roads at a network level // Arabian Journal for Science and Engineering. 2021. Vol. 46. Issue 5. Pp. 4615–4626. DOI: 10.1007/s13369-020-05122-0
23. Titi H., Qamhia I.I., Ramirez J., Tabatabai H. Long-term performance of flexible pavements constructed on recycled base layers // Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 2022. Vol. 2676. Issue 11. Pp. 206–222. DOI: 10.1177/03611981221092000
24. Nabipour N., Karballaezadeh N., Dineva A., Mosavi A., Mohammadzadeh S.D., Shamsheirband S. Comparative analysis of machine learning models for prediction of remaining service life of flexible pavement // Mathematics. 2019. Vol. 7. Issue 12. P. 1198. DOI: 10.3390/math7121198
25. Elshamy M.M.M., Tiraturyan A.N., Uglova E.V. Evaluation of the elastic modulus of pavement layers using different types of neural networks models // Advanced Engineering Research. 2022. Vol. 21. Issue 4. Pp. 364–375. DOI: 10.23947/2687-1653-2021-21-4-364-375
26. Elshamy M.M.M., Tiraturyan A.N., Uglova E.V., Zakari M. Development of the non-destructive monitoring methods of the pavement conditions via artificial neural networks // Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1614. Issue 1. P. 012099. DOI: 10.1088/1742-6596/1614/1/012099
27. Elshamy M.M.M., Tiraturyan A.N., Uglova E.V., Elgendy M.Z. Evaluation of pavement condition deterioration using artificial intelligence models // Advanced Engineering Research. 2022. Vol. 22. Issue 3. Pp. 272–284. DOI: 10.23947/2687-1653-2022-22-3-272-284
28. Elshamy M.M.M., Tiraturyan A.N., Uglova E.V., Elgendy M.Z. Comparison of feed-forward, cascade-forward, and Elman algorithms models for determination of the elastic modulus of pavement layers // 2021 4th International Conference on Geoinformatics and Data Analysis. 2021. Pp. 46–53. DOI: 10.1145/3465222.3465235

29. Wang H. Life cycle assessment of asphalt pavement maintenance. Rutgers University. Center for Advanced Infrastructure and Transportation, 2014.

30. Ushakov I. Reliability: past, present, future // Reliability: Theory & Applications. 2006. Vol. 1. No. 1 (1). Pp. 10–16.

Поступила в редакцию 27 июня 2023 г.

Принята в доработанном виде 1 ноября 2023 г.

Одобрена для публикации 8 ноября 2023 г.

ОБ АВТОРЕ: **Артем Николаевич Тиратуриян** — доктор технических наук, доцент, профессор кафедры автомобильных дорог; **Донской государственный технический университет (ДГТУ)**; 344000 г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1; РИНЦ ID: 803524, Scopus: 57190178833, ResearcherID: Q-2390-2017, ORCID: 0000-0001-5912-1235; tiraturjan@list.ru.

REFERENCES

1. Leonovich I.I., Novgorodsky Ya.Ya., Burtul Yu.V. Transport and operational status of the network of republican highways and the main directions for improving their quality. *Bulletin of the Belarusian National Technical University*. 2008; 6:56-63. EDN VVALSN. (rus.).

2. Krasikov O.A. *Optimal values. Automobile Roads*. 2021; 9(1078):134-137. EDN ZZMBRJ. (rus.).

3. Kirillov A.M., Zavyalov M.A. Prediction of remaining service life of asphalt-concrete pavements. *Vestnik MGSU* [Proceedings of the Moscow State University of Civil Engineering]. 2018; 13(3):356-367. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.3.356-367. (rus.).

4. Elhadidy A.A., El-Badawy S.M., Elbeltagi E.E. A simplified pavement condition index regression model for pavement evaluation. *International Journal of Pavement Engineering*. 2021; 22(5):643-652. DOI: 10.1080/10298436.2019.1633579

5. Fakhri M., Dezfoulan R.S. Pavement structural evaluation based on roughness and surface distress survey using neural network model. *Construction and Building Materials*. 2019; 204:768-780. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.01.142

6. Vasiliev A.P. Target indicators for evaluating the effectiveness of modernization, repair and maintenance of highways. *Science and Technology in the Road Industry*. 2005; 1:5-8. EDN OIJYPF. (rus.).

7. Vasil'ev A.P., Efimenko V.N. Roadway reconstruction, modernization, and replacement in sub-sovereign entities. *Journal of Construction and Architecture*. 2014; 6(47):157-167. EDN TBZNID. (rus.).

8. Uglova E.V., Saenko S.S. Review of tools for the road structure state management. *Russian Journal of Transport Engineering*. 2016; 3(1):6-18. EDN WKTSFF. (rus.).

9. Tiraturyan A.N., Belousov Y.S., Shatalov V.Y. Simulation of the design activity diversification of innovative enterprise. *Engineering Bulletin of the Don*. 2016; 3(42):65. EDN YGSTBV. (rus.).

10. Jiang X., Gabrielson J., Huang B., Bai Y., Polaczyk P., Zhang M. et al. Evaluation of inverted

pavement by structural condition indicators from falling weight deflectometer. *Construction and Building Materials*. 2022; 319:125991. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.125991

11. Rabbi M.F., Mishra D. Using FWD deflection basin parameters for network-level assessment of flexible pavements. *International Journal of Pavement Engineering*. 2021; 22(2):147-161. DOI: 10.1080/10298436.2019.1580366

12. Jing C., Zhang J., Song B. An innovative evaluation method for performance of in-service asphalt pavement with semi-rigid base. *Construction and Building Materials*. 2020; 235:117376. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.117376

13. Vyas V., Singh A.P., Srivastava A. Entropy-based fuzzy SWOT decision-making for condition assessment of airfield pavements. *International Journal of Pavement Engineering*. 2021; 22(10):1226-1237. DOI: 10.1080/10298436.2019.1671590

14. Bosurgi G., Pellegrino O., Sollazzo G. Pavement condition information modelling in an I-BIM environment. *International Journal of Pavement Engineering*. 2022; 23(13):4803-4818. DOI: 10.1080/10298436.2021.1978442

15. Vyas V., Singh A.P., Srivastava A. Prediction of asphalt pavement condition using FWD deflection basin parameters and artificial neural networks. *Road Materials and Pavement Design*. 2021; 22(12):2748-2766. DOI: 10.1080/14680629.2020.1797855

16. Wang J., Chen M., Gao W., Guo Z., Liu Y. A comparison of network level pavement condition assessment in road asset management. *International Journal of Transportation Engineering and Technology*. 2020; 6(3):95. DOI: 10.11648/j.ijtet.20200603.14

17. Kumar R., Suman S.K. Development of overall pavement condition index for maintenance strategy selection for Indian highways. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*. 2022; 13(2):832-843. DOI: 10.1007/s13198-021-01344-z

18. Issa A., Sammaneh H., Abaza K. Modeling pavement condition index using cascade architecture: classical and neural network methods. *Ira-*

nian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering. 2022; 46(1):483-495. DOI: 10.1007/s40996-021-00678-9

19. Han C., Fang M., Ma T., Cao H., Peng H. An intelligent decision-making framework for asphalt pavement maintenance using the clustering-PageRank algorithm. *Engineering Optimization*. 2020; 52(11):1829-1847. DOI: 10.1080/0305215X.2019.1677636

20. Ndume V., Mlavi E., Mwaipungu R. Development of Road Pavement Condition Index Using Combined Parameters. *Civil Engineering Research*. 2020; 10(3):53-62. DOI: 10.5923/j.jce.20201003.01

21. Kravcovas I., Vaitkus A., Kleizienė R. Comparison of pavement performance models for urban road management system. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*. 2020; 15(3):111-129. DOI: 10.7250/bjrbe.2020-15.487

22. Mubarak M., Sallam H. The most effective index for pavement management of urban major roads at a network level. *Arabian Journal for Science and Engineering*. 2021; 46(5):4615-4626. DOI: 10.1007/s13369-020-05122-0

23. Titi H., Qamhia I.I., Ramirez J., Tabatabai H. Long-Term Performance of Flexible Pavements Constructed on Recycled Base Layers. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2022; 2676(11):206-222. DOI: 10.1177/03611981221092000

24. Nabipour N., Karballaezadeh N., Dineva A., Mosavi A., Mohammadzadeh S.D., Shamshirband S. Comparative analysis of machine learning models for

prediction of remaining service life of flexible pavement. *Mathematics*. 2019; 7(12):1198. DOI: 10.3390/math7121198

25. Elshamy M.M.M., Tiraturyan A.N., Uglova E.V. Evaluation of the elastic modulus of pavement layers using different types of neural networks models. *Advanced Engineering Research*. 2022; 21(4):364-375. DOI: 10.23947/2687-1653-2021-21-4-364-375

26. Elshamy M.M.M., Tiraturyan A.N., Uglova E.V., Zakari M. Development of the non-destructive monitoring methods of the pavement conditions via artificial neural networks. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020; 1614(1):012099. DOI: 10.1088/1742-6596/1614/1/012099

27. Elshamy M.M.M., Tiraturyan A.N., Uglova E.V., Elgendy M.Z. Evaluation of Pavement Condition Deterioration Using Artificial Intelligence Models. *Advanced Engineering Research*. 2022; 22(3):272-284. DOI: 10.23947/2687-1653-2022-22-3-272-284

28. Elshamy M.M.M., Tiraturyan A.N., Uglova E.V., Elgendy M.Z. Comparison of feed-forward, cascade-forward, and Elman algorithms models for determination of the elastic modulus of pavement layers. *2021 4th International Conference on Geoinformatics and Data Analysis*. 2021; 46-53. DOI: 10.1145/3465222.3465235

29. Wang H. *Life Cycle Assessment of Asphalt Pavement Maintenance*. Rutgers University. Center for Advanced Infrastructure and Transportation, 2014.

30. Ushakov I. Reliability: past, present, future. *Reliability: Theory & Applications*. 2006; 1(1):10-16.

Received June 27, 2023.

Adopted in revised form on November 1, 2023.

Approved for publication on November 8, 2023.

B I O N O T E S : **Artem N. Tiraturyan** — Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Automobile Roads; **Don State Technical University (DSTU)**; 1 Gagarin square, 344000, Rostov-on-Don, Russian Federation; ID RSCI: 803524, Scopus: 57190178833, ResearcherID: Q-2390-2017, ORCID: 0000-0001-5912-1235; tiraturjan@list.ru.

Организационно-технологические принципы мониторинга состояния здания на этапе эксплуатации жизненного цикла

Сергей Викторович Федосов¹, Азарий Абрамович Лапидус¹,
Александр Борисович Петрухин², Борис Евгеньевич Нармания¹

¹ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия;

² Ивановский государственный политехнический университет (ИВГПУ); г. Иваново, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В имеющейся нормативной и научно-технической литературе отсутствует понятие «жизненный цикл строительной конструкции (строительного материала)». Поскольку продолжительность жизненного цикла (ЖЦ) объекта недвижимости в значительной степени зависит от долговечности строительных конструкций и материалов, из которых он построен, целесообразно проводить изучение изменения прочностных параметров строительных конструкций в период их ЖЦ. Графическое моделирование ЖЦ строительной конструкции (строительного материала) отражает прочностные показатели конструкции на всех этапах эксплуатации.

Материалы и методы. Методология исследования основана на графическом моделировании ЖЦ строительной конструкции. В качестве показателя долговечности бетонной конструкции выбрано относительное значение коэффициента прочности на сжатие. Изменение прочности на сжатие бетона строительных конструкций может определяться по логарифмическому закону. Математический оператор задачи Коши, заключающейся в нахождении решения обыкновенного дифференциального уравнения первого порядка, может быть использован для установления состояния бетонной конструкции в любой период ЖЦ.

Результаты. Представлены графические модели поведения прочности на сжатие во времени ЖЦ конструкции (здания), отображающие периоды формирования структуры бетона. Графическая модель дополнена периодом времени до момента, соответствующего достижению критического значения прочности бетона, при котором происходит разрушение конструкции. Графически изображены варианты изменения ЖЦ конструкции под влиянием внешних и внутренних факторов.

Выводы. Предложено определение ЖЦ строительной конструкции (материала). Обоснована целесообразность введения в нормативную документацию и научно-техническую литературу понятия «жизненный цикл строительной конструкции (строительного материала)».

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: жизненный цикл, показатели долговечности, процессы массопереноса, прогнозирование долговечности, прочность бетона, деструкция бетона, уравнения массопроводности, графическое моделирование, анализ состояния конструкции, долговечность конструкций

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Федосов С.В., Лапидус А.А., Петрухин А.Б., Нармания Б.Е. Организационно-технологические принципы мониторинга состояния здания на этапе эксплуатации жизненного цикла // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19. Вып. 1. С. 128–137. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.1.128-137

Автор, ответственный за переписку: Борис Евгеньевич Нармания, borisfablee@gmail.com.

Organizational and technological principles of building condition monitoring at the stage of life cycle operation

Sergey V. Fedosov¹, Azariy A. Lapidus¹, Alexsander B. Petrukhin², Boris E. Narmaniya¹

¹ Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation;

² Ivanovo State Polytechnic University (IVSPU); Ivanovo, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. There is no concept of “life cycle of a building structure (building material)” in the available regulatory and scientific and technical literature. Since the duration of the life cycle of a real estate object largely depends on the durability of building structures and materials, it is reasonable to study the changes in the strength parameters of building structures during their life cycle. Graphical modelling of the life cycle of a building structure (building material) reflects the strength parameters of the structure at all stages of operation.

Materials and methods. The methodology of the work is based on graphical modelling of the life cycle of a building structure. The relative value of compressive strength coefficient was chosen as an indicator of the concrete structure durability. The change of the compressive strength of concrete building structures can be determined according to the logarithmic law.

The mathematical operator of the Cauchy problem, which consists in finding a solution to an ordinary differential equation of the first order, can be used to establish the state of a concrete structure at any period of the life cycle.

Results. Graphical models of compressive strength behavior in time of the life cycle of a structure (building) are presented, showing the periods of formation of the concrete structure. The graphical model is supplemented with the period of time up to the moment corresponding to the achievement of the critical value of concrete strength, at which the structure collapses. The variants of changing the life cycle of the structure under the influence of external and internal factors are graphically depicted.

Conclusions. The definition of the life cycle of a building structure (material) is proposed. The expediency of introducing the concept of “life cycle of a building structure (building material)” into regulatory documentation and scientific and technical literature is substantiated.

KEYWORDS: life cycle, durability indicators, mass transfer processes, durability prediction, concrete strength, concrete destruction, mass conductivity equations, graphical modelling, structural condition analysis, structural durability

FOR CITATION: Fedosov S.V., Lapidus A.A., Petrukhin A.B., Narmaniya B.E. Organizational and technological principles of building condition monitoring at the stage of life cycle operation. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2024; 19(1):128-137. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.1.128-137 (rus.).

Corresponding author: Boris E. Narmaniya, borisfablee@gmail.com.

ВВЕДЕНИЕ

Федеральным законом от 30.12.2009 № 384-ФЗ¹ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» впервые вводится понятие «жизненный цикл объекта строительства», которое нашло дальнейшее внедрение в нормативные документы². Указывается, что «жизненный цикл здания или сооружения — это период, в течение которого осуществляются инженерные изыскания, проектирование, строительство (в том числе консервация), эксплуатация (в том числе текущие ремонты), реконструкция, капитальный ремонт, снос здания или сооружения». Очевидно, что продолжительность жизненного цикла (ЖЦ) объекта недвижимости в значительной степени зависит от долговечности строительных конструкций и материалов, из которых он построен. Однако до настоящего времени ни одним нормативным документом не определено понятие «жизненный цикл строительной конструкции (строительного материала)» и в научном сообществе этот момент активно не обсуждается.

Неизвестен автор слов: «История строительной науки написана кровью». Однако сколько бы ни прошло времен, эпох, сколько бы ни сменилось поколений, не проходит дня, чтобы средства массовой информации не сообщали о катаклизмах природы, в результате которых гибнут люди.

С начала своего появления человек не прекращал думать о том, как защитить себя и свою семью от непогоды и хищников, в результате он стал строить жилища. Развивались интеллект человека, общество, приобретался опыт строительства. Этот процесс не прекращается и теперь. Как не прекращаются

и катаклизмы природы, а с ними и гибель людей в результате аварий и разрушений зданий и сооружений.

Негативными факторами, влияющими на долговечность и работоспособность строительных конструкций, являются воздействия окружающей среды (среды эксплуатации). В основном это легко определяемые стандартными приборами такие характеристики жизненной среды обитания человека, как температура и влажность.

Живые существа тонко реагируют на вариации температурно-влажностных параметров своим поведением: болезнями, продолжительностью жизни. Но, так же тонко, хотя порой и не замечаемые человеком, реагируют и природа, и «неживые» элементы конструкций зданий и сооружений.

Необходимо отметить еще один, неприметный, на первый взгляд, но очень важный момент: память — величайшее качество человека, она присуща и неживой природе. Например, построено здание, в нем долго живет человек. Внезапно произошла стихия, частично разрушилось здание. Провели ремонтные работы, восстановили конструкции и через какое-то время вновь происходит обрушение. Возникает вопрос — почему? Ответ — потому что воздействие стихии нанесло вред элементам конструкции. Они это «запомнили», оставшись в усиленном напряженно-деформированном состоянии. И под воздействием, казалось бы, незначительных внешних факторов вдруг наступает превышение «предела устойчивости», которое и приводит к обрушению конструкций.

Нормативная документация² определяет факторы деструкционного изменения элементов конструкций зданий как промышленного, так и гражданского назначения.

В первую очередь, это коррозия материалов конструкций: бетона [1–6], арматуры [7, 8], железобетона [9, 10], древесины [11], а также биокоррозия [11–15] и т.д. В реальных условиях эксплуатации на конструкцию могут оказывать влияние не один какой-либо определенный вид коррозии, а их совокупность. Поэтому очень важно отслеживать

¹ Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : Федеральный закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ. Ст. 2. Основные понятия.

² СП 333.1325800.2020. Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла. 2020. 195 с.

динамику определяющих характеристик не только здания, но и несущих конструкций на всех этапах их ЖЦ; фиксировать появление негативных признаков и находить пути их устранения. Этот процесс можно обозначить таким термином, как «управление жизненным циклом здания и его основных несущих конструкций». Процесс мониторинга состояния как здания в целом, так и его основных конструктивных элементов до настоящего времени недостаточно изучен.

С позиций физико-химической теории большинство деструктивных процессов разрушения строительных конструкций зданий и сооружений определяется закономерностями диффузионных процессов, которые с математической точки зрения описываются дифференциальными уравнениями нестационарной массопроводности параболического типа [16–26].

В нормативной² и научной литературе [1, 3, 5, 6, 9, 11, 13, 14, 22, 26] уделяется большое внимание анализу работы ограждающих конструкций как силовых, так и теплоизоляционных элементов, во многом определяющих как условия комфортного проживания человека, так и условия долговечности эффективного существования конструкций зданий и сооружений.

Поэтому тепловая задача стала предметом тщательного изучения специалистов, экспертов и ученых в области строительной теплофизики [22, 26–29], поскольку эффект влияния температуры («тепло» и «холод») воздействует на условия жизни человека. Последующее развитие строительных технологий выявило важность воздействия *влажностного* состояния среды эксплуатации на состояние конструкций и условия комфортного проживания человека. Появляется термин и утверждение, что конструкция должна «дышать». Вопросы диффузии газов, паров и жидкостей в ограждающих конструкциях, представляющих собой твердые тела, имеющие пористую структуру, становятся также предметом исследования научного сообщества [30–35].

В основе этих процессов, именуемых как *процессы массопереноса* (массопроводности в твердом теле), лежит дифференциальное уравнение нестационарной массопроводности [13, 16, 19, 22, 26]:

$$\frac{\partial C_i(x, t)}{\partial t} = D_i \frac{\partial^2 C_i(x, t)}{\partial x^2}, \quad (1)$$

где C_i — концентрация переносимого i -го компонента, распределенная в координатном пространстве конструкции и изменяющаяся во времени; D_i — коэффициент диффузии компонента.

Установлено [22, 26, 27], что коэффициенты переноса теплоты (теплофизические характеристики) и массы вещества (диффузионные параметры) зависят как от параметров внешней среды эксплуатации (среди основных из них — температура T , влажность U , давление P), так и от структурно-ме-

ханических характеристик материала конструкции (плотность ρ , прочность $R_{сж}$ и др.).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Выбор тематики исследования обусловлен необходимостью расширения и совершенствования методологических подходов к прогнозированию долговечности строительной конструкции на всех этапах ее ЖЦ.

Методология исследования основана на графическом описании изменения прочностных характеристик на разных этапах ЖЦ строительной конструкции. Авторы считают необходимым особенно внимание уделить периоду ЖЦ конструкции, когда начинается снижение прочности бетона вплоть до достижения критического значения, при котором происходит необратимое разрушение конструкции.

В рамках настоящей статьи авторами определен объектом исследования этап эксплуатации здания производственного назначения. Предмет исследования — изучение изменения прочностных параметров строительных конструкций в период их ЖЦ с использованием инструмента графического моделирования. Под графическим моделированием применительно к специфике предмета исследования подразумеваем отображение в графическом объектно-пространственном виде установленной последовательности процессов изменения прочностных характеристик строительных конструкций в период их ЖЦ.

Агрессивные компоненты, находящиеся в той или иной мере практически всегда в среде, в которой работает конструкция, участвуют в химических реакциях с материалом конструкции. В результате этого взаимодействия происходит снижение показателей прочностных структурно-механических характеристик. Это является прямой причиной будущих катастроф.

В качестве показателя долговечности строительной конструкции можно выбрать относительное значение коэффициента прочности на сжатие:

$$R_{сж} = \frac{R_{сж}(t)}{R_{сж}(100)}, \quad (2)$$

где $R_{сж}(t)$ — значение прочности на сжатие в момент времени t ; $R_{сж}(100)$ — максимальное значение прочности.

Графической моделью поведения этого показателя во времени ЖЦ конструкции (здания) может быть иллюстрация, приведенная на рис. 1.

В соответствии с современными представлениями [36, 37] расчетные периоды структурообразования в бетонной смеси показаны на рис. 1.

Обозначены три периода формирования структуры бетона: I — период образования первоначальной структуры; II — период упрочнения структуры; III — период стабилизации структуры.

Границей между первым и вторым периодами служит точка A , которая функционально характе-

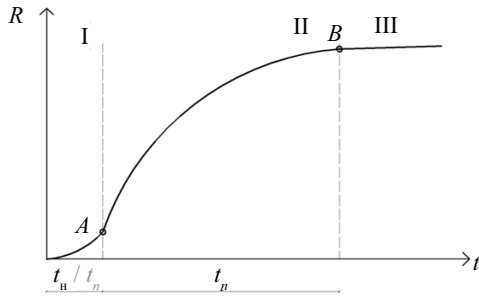


Рис. 1. Графическая модель поведения прочности на сжатие $R_{сж}$ во времени жизненного цикла конструкции (здания)

Fig. 1. Graphical model of the behavior of compressive strength R_c during the life cycle of a structure (building)

ризует момент образования первоначальной структуры бетона. В дальнейшем происходит лишь ее упрочнение. Полагается, что во втором периоде происходит нарастание прочности структуры по так называемому логарифмическому закону:

$$R_n = R_{28} \frac{\lg(n)}{\lg(28)}, \quad (3)$$

где R_n — прочность бетона на сжатие в возрасте n суток, МПа; R_{28} — прочность бетона на сжатие в возрасте 28 суток.

Разумеется, в процессе твердения происходит изменение всех теплофизических, физико-механических, реологических характеристик, сначала бетонной смеси, а в последующем — структуры твердеющего бетона, но именно величина $R_{сж}$ может быть принята за определенный интегральный показатель оценки качества бетона строительной конструкции в соответствующий момент времени.

В этих условиях для мониторинга состояния системы и прогнозирования ее поведения в определенные периоды ЖЦ возможно описание системы с математической точки зрения. Таковым может быть выбран математический оператор задачи Коши [38].

Задача Коши формулируется как проблема нахождения решения обыкновенного дифференциального уравнения первого порядка:

$$\frac{dy}{dx} = f(x, y), \quad (4)$$

где $y(x)$ — функция, удовлетворяющая начальному условию:

$$y_0 = y(x_0), \quad (5)$$

где y_0 и x_0 — заданные числа (начальные значения). При этом $x_0 \in (a, b)$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Заметим, что исторически в теоретическом и практическом аспектах исследователей всегда интересовали процессы, происходящие на I и II пери-

одах структурообразования. Участок стабилизации становился «скучным» и неинтересным, на нем все процессы считались «вялотекущими».

Между тем пришло время, когда с позиций анализа ЖЦ строительных конструкций полезно при-смотреться к процессам, все-таки в нем происходящим, на более длительный период времени, на весь срок эксплуатации здания.

И первое, на что необходимо обратить внимание, так это на структуру вяжущего: цемента, поскольку именно он является основным компонентом, обеспечивающим прочность конструкции. Одна из его особенностей — полидисперсность состава, характеризующаяся функцией вероятности распределения частиц по размерам. Существует множество подходов для их описания, которые без труда можно найти в специальной литературе [31]. Но в любом спектре частиц существуют минимальный и максимальный размеры частиц ($d_{\min}$, $d_{\max}$). В соответствии с современными представлениями о кинетике гетерогенных химических процессов [39], скорость процессов взаимодействия компонентов цемента с водой будет определяться закономерностями физико-химических превращений в частичках твердой фазы. При этом мелкие частицы реагируют быстрее, в силу более высоких значений удельной поверхности контакта фаз. Реакции в более крупных частицах замедляются вследствие того, что жидкому реагенту (воде) со временем приходится преодолевать слой образующихся продуктов реакции, что и приводит к замедлению процессов гидратации.

В соответствии с изложенными положениями представляется целесообразным рис. 1 дополнить периодом времени до момента, когда наступает критическое значение прочности, при котором наступает неизбежное разрушение конструкции (рис. 2).

Согласно этим физическим представлениям, кривая на рис. 2 является лишь одним из теоретически возможных вариантов. Целесообразно рассматривать и другие, между характерными отметками 2 и 5, т.е. период времени, который определяет ряд состояний строительной конструкции.

С геометрической и математической точек зрения плоскость зон II и III (начиная со стадии стабилизации и до момента стадии завершения эксплуатации конструкции) может быть рассмотрена как цепь участков $[a, b]$, на каждом из которых в процессе эксплуатации возникают те или иные воздействия, влияющие на функционирование системы. Авторы настоящей статьи планируют в последующих исследованиях провести анализ этих воздействий. В настоящей работе полагают возможным ограничиться изложенным.

Отметим, что, выбрав для примера отрезок времени периода ЖЦ $[a_0, b_0]$ и принимая начальные условия для точки a_0 , всегда можно построить решения задачи Коши для двух типов задач: прямой и обратной.

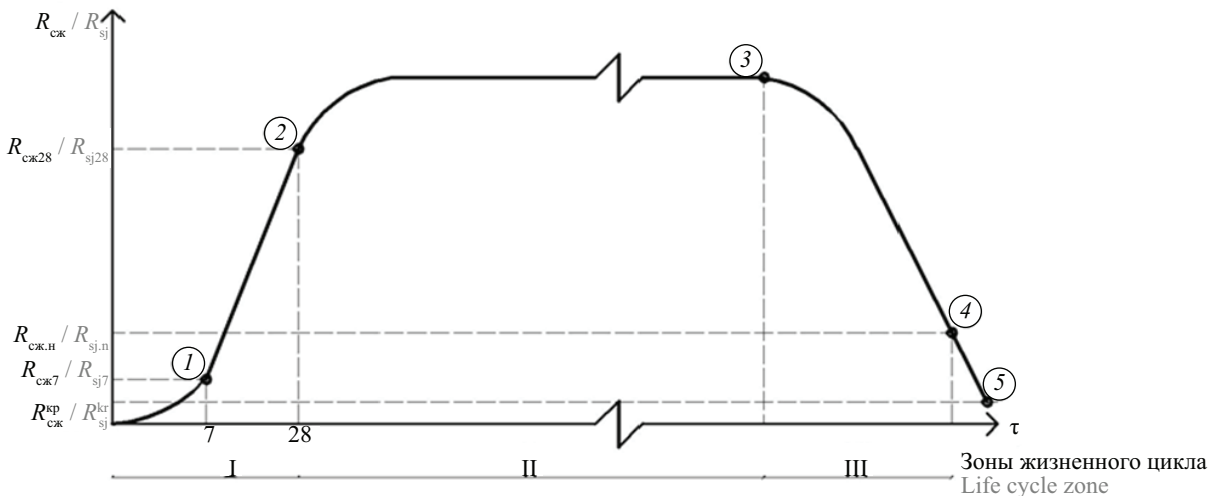


Рис. 2. Графическая модель изменения прочности на сжатие $R_{сж}$ во времени жизненного цикла конструкции в период эксплуатации здания; I — зона нарастания прочности; 7, 28 суток — характерные отметки 1 и 2; II — зона эффективной (нормативной) эксплуатации — характерные отметки 2 и 3; III — зона снижения (потери) прочности — характерные отметки 3, 4 и 5; $R_{сж,н}$ — нормативное значение прочности, при котором конструкция признается аварийной и требуется срочная ее замена; $R_{сж,кр}$ — критическое значение прочности, при котором наступает неизбежное обрушение конструкции — характерная отметка 5

Fig. 2. Graphical model of the change in the compressive strength R_c during the life cycle of the structure during the operation of the building: I — the zone of strength growth; 7, 28 days — characteristic marks 1 and 2; II — the zone of effective (normative) operation — characteristic marks 2 and 3; III — the zone of reduction (loss) of strength — characteristic marks 3, 4 and 5; R_{cn} is the normative value of strength at which the structure is recognized as an emergency and its urgent replacement is required; R_{ccr} is the critical value of strength at which the inevitable collapse of the structure occurs — a characteristic mark 5

Прямая задача — прогнозирование ситуации в точке b_0 при наложении внешних воздействий на функцию $R_{сж} = f(t)$. Это дает возможность предсказать, с каким прочностным показателем конструкция подойдет к следующему этапу ЖЦ.

Обратная задача — имея данные результатов предварительных исследований по воздействию внешних факторов на состояние конструкции (во многом, кстати, определяемое свойствами материала конструкции), предложить комплекс мероприятий, предупрежда-

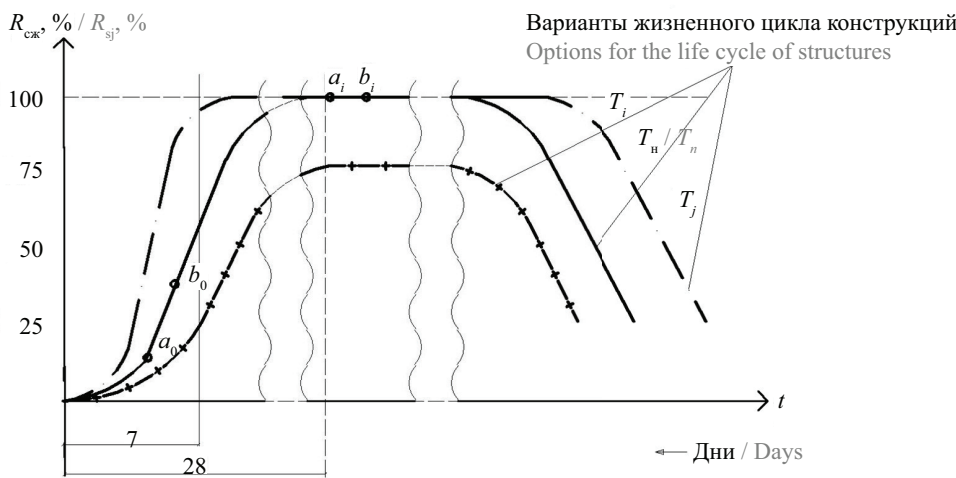


Рис. 3. Варианты изменения жизненного цикла конструкции под влиянием внешних и внутренних факторов: T_n — нормативная продолжительность жизненного цикла конструкции; T_p, T_j — варианты фактической продолжительности жизненного цикла конструкции в результате воздействия внешних и внутренних факторов

Fig. 3. Options of changes in the life cycle of a structure under the influence of external and internal factors: T_n is the normative duration of the life cycle of the structure; T_p, T_j are variants of the actual duration of the life cycle of the structure as a result of the influence of external and internal factors

дающих развитие негативных событий, способных привести к катастрофическим последствиям.

Изложенные положения можно представить графически следующим образом (рис. 3).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализируя представленные графики (рис. 1–3), следует отметить: если зона I нарастания прочности конструкции достаточно изучена, то II и III зоны до настоящего времени недостаточно исследованы и требуют дальнейшего глубокого научного изучения. В соответствии с изложенным, авторы настоящей статьи считают, что II и III зоны являются не менее важными с точки зрения обеспечения безопасной эксплуатации

здания. В качестве рабочего варианта предлагается следующее определение жизненного цикла строительной конструкции (материала): это период, включающий зону нарастания прочности конструкции, зону эффективной (нормативной) ее эксплуатации и зону снижения (потери) прочности строительной конструкции (строительного материала).

Поэтому авторы считают, что по результатам этих исследований действующие нормативные документы целесообразно дополнить формулировками понятия ЖЦ строительных конструкций (строительных материалов), учитывающих характер изменения их прочностных параметров во времени с точным количественным определением прочностных характеристик, обеспечивающих их безопасную работу.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Москвин В.М. Коррозия бетона. М. : Гос. изд-во лит. по строительству и архитектуре, 1952. 344 с.
2. Римшин В.И., Варламов А.А., Курбатов В.Л., Анпилов С.М. Развитие теории деградации бетонного композита // Строительные материалы. 2019. № 6. С. 12–17. DOI: 10.31659/0585-430X-2019-771-6-12-17. EDN AWEKIX.
3. Розенталь Н.К. Коррозионная стойкость цементных бетонов низкой и особо низкой проницаемости. М. : ФГУП ЦПП, 2006. 520 с.
4. Степанова В.Ф., Розенталь Н.К., Чехний Г.В., Баев С.М. Определение коррозионной стойкости торкрет-бетона как защитного покрытия бетонных и железобетонных конструкций // Строительные материалы. 2018. № 8. С. 69–73. DOI: 10.31659/0585-430X-2018-762-8-69-72. EDN UZLDLW.
5. Федосов С.В., Базанов С.М. Сульфатная коррозия бетона. М. : Изд-во АСВ, 2003. 191 с. EDN QNKJWJ.
6. Федосов С.В., Алоян Р.М., Ибрагимов А.М., Гнедина Л.Ю., Аксаковская Л.Н. Промерзание влажных грунтов, оснований и фундаментов. М. : Изд-во АСВ, 2005. 277 с.
7. Konovalova V., Rumyantseva V., Korinchuk M. Intensity of mass transfer processes in concrete with inhibitors in chloride corrosion // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 410. P. 01009. DOI: 10.1051/e3s-conf/202341001009
8. Розенталь Н.К., Чехний Г.В. Проблемы хлоридной коррозии стальной арматуры // Вестник НИИСтроительство. 2022. № 4 (35). С. 174–185. DOI: 10.37538/2224-9494-2022-4(35)-174-185. EDN MQVBIV.
9. Алексеев С.Н., Розенталь Н.К. Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в агрессивной промышленной среде. М. : Стройиздат, 1976. 205 с.
10. Селяев В.П., Селяев П.В., Хамза Е.Е. Основы теории деградации и прогнозирования долговеч-

ности железобетонных конструкций с учетом фрактального строения структуры материала // Эксперт: теория и практика. 2022. № 1 (16). С. 23–36. DOI: 10.51608/26867818_2022_1_23. EDN BPDPMZ.

11. Федосов С.В., Степанова В.Ф., Румянцева В.Е., Котлов В.Г., Степанов А.Ю., Коновалова В.С. Коррозия строительных материалов: проблемы, пути решения. М. : Изд-во АСВ, 2022. 400 с.

12. Строкин К.Б., Новиков Д.Г., Коновалова В.С., Касьяненко Н.С. Влияние микроорганизмов на физико-механические свойства бетона // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 10. С. 90–98. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-10-90-98. EDN NQOOZC.

13. Erofeev V., Smirnov V., Dergunova A., Bogatov A., Letkina N. Development and research of methods to improve the biosustainability of building materials // Materials Science Forum. 2019. Vol. 974. Pp. 305–311. DOI: 10.4028/www.scientific.net/msf.974.305

14. Смирнов В.Ф., Светлов Д.А., Зоткина М.М., Светлов Д.Д., Бажанова М.Е., Вильдяева М.В., Захарова Е.А. Экологические аспекты биокоррозии и повышение биостойкости строительных материалов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2021. № 4. С. 14–26. DOI: 10.25686/2542-114X.2021.4.14. EDN ZSDKVA.

15. Kochina T.A., Kondratenko Y.A., Shilova O.A., Vlasov D.Yu. Biocorrosion, biofouling, and advanced methods of controlling them // Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces. 2022. Vol. 58. Issue 1. Pp. 129–150. DOI: 10.1134/S2070205122010129

16. Гусев Б.В., Файвусович А.С. Математическое моделирование процессов коррозии бетонов // Промышленное и гражданское строительство. 2022. № 11. С. 68–75. DOI: 10.33622/0869-7019.2022.11.68-75. EDN UDAXDI.

17. Чернышов Е.М., Федосов С.В., Румянцева В.Е. Развитие методов прогнозирования долго-

вечности строительных конструкций на основе разработки теории и моделей коррозии бетонов с учетом явлений тепломассопереноса и формирования градиентных состояний // Academia. Архитектура и строительство. 2023. № 1. С. 89–100. DOI: 10.22337/2077-9038-2023-1-89-100. EDN LUOBRF.

18. Федосов С.В., Румянцева В.Е., Красильников И.В., Красильникова И.А. Математическое моделирование нестационарного массопереноса в системе «цементный бетон – жидкая среда», лимитируемого внутренней диффузией и внешней массоотдачей // Строительные материалы. 2022. № 1–2. С. 134–140. DOI: 10.31659/0585-430X-2022-799-1-2-134-140. EDN SIGNGF.

19. Vromans A., Muntean A., van de Ven F. A mixture theory-based concrete corrosion model coupling chemical reactions, diffusion and mechanics // Pacific Journal of Mathematics for Industry. 2018. Vol. 10. Issue 1. DOI: 10.1186/s40736-018-0039-6

20. Fedosov S.V., Aleksandrova O.V., Lipidus A.A., Kuzmina T.K., Topchiy D.V. An engineering method of analyzing the dynamics of mass transfer during concrete corrosion processes in offshore structures // Materials. 2023. Vol. 16. Issue 10. P. 3705. DOI: 10.3390/ma16103705

21. Zhu X., Meng Z., Liu Y., Xu L., Chen Z. Entire Process Simulation of Corrosion due to the Ingress of Chloride Ions and CO₂ in Concrete // Advances in Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 2018. Pp. 1–12. DOI: 10.1155/2018/9254865

22. Федосов С.В. Тепломассоперенос в технологических процессах строительной индустрии : монография. Иваново : ПресСто, 2010. 363 с. EDN QNOQOV.

23. Fedosov S.V., Roumyantseva V.E., Krasilnikov I.V., Kononova V.S. Physical and mathematical modelling of the mass transfer process in heterogeneous systems under corrosion destruction of reinforced concrete structures // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 456. P. 012039. DOI: 10.1088/1757-899X/456/1/012039

24. Fedosov S.V., Rumyantseva V.E., Krasilnikov I.V., Kononova V.S., Evsyakov A.S. Mathematical modeling of the colmatation of concrete pores during corrosion // Magazine of Civil Engineering. 2018. No. 7 (83). Pp. 198–207. DOI: 10.18720/MCE.83.18. EDN SIZQZP.

25. Fedosov S.V., Roumyantseva V.E., Krasilnikov I.V., Narmania B.E. Formulation of mathematical problem describing physical and chemical processes at concrete corrosion // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2017. Vol. 13. Issue 2. Pp. 45–49. DOI: 10.22337/2587-9618-2017-13-2-45-49

26. Федосов С.В., Румянцева В.Е., Красильников И.В. Методы математической физики в приложениях к проблемам коррозии бетона в жидких

агрессивных средах. М. : Изд-во АСВ, 2022. 244 с. EDN QRKKFL.

27. Федосов С.В., Анисимова Н.К. Тепломассообмен : учеб. пособие. Иваново : ИГАСА, 2004. 103 с. EDN QMIMUL.

28. Salihu F., Guri Z., Cvetkovska M., Pllana F. Fire resistance analysis of two-way reinforced concrete slabs // Civil Engineering Journal. 2023. Vol. 9. Issue 5. Pp. 1085–1104. DOI: 10.28991/CEJ-2023-09-05-05

29. Румянцева В.Е., Красильников И.В., Красильникова И.А., Новикова У.А., Касьяненко Н.С. Исследование влияния температуры на интенсивность массопереноса при коррозии первого вида цементных бетонов // Современные проблемы гражданской защиты. 2022. № 1 (42). С. 24–31. EDN UKZZCT.

30. Liu Q., Wei D., Zhang H., Zhai C., Gan Y. A numerical investigation on effective diffusion in cement-based composites: the role of aggregate shape // Transport in Porous Media. 2022. Vol. 143. Issue 3. Pp. 681–702. DOI: 10.1007/s11242-022-01804-5

31. Федосов С.В., Мизонов В.Е. Основы теории и математического моделирования механических и тепловых процессов в производстве строительных материалов. Beau Bassin : Palmarium Academic Publishing, 2020. 256 с. EDN LGOFPPZ.

32. Карташов Э.М., Кудинов В.А. Аналитические методы теории теплопроводности и ее приложений. М. : Ленанд, 2018. 1078 с.

33. Bretti G., Ceseri M., Natalini R. A moving boundary problem for reaction and diffusion processes in concrete: Carbonation advancement and carbonation shrinkage // Discrete and Continuous Dynamical Systems – S. 2022. Vol. 15. Issue 8. P. 2033. DOI: 10.3934/dcdss.2022092

34. Федосов С.В., Румянцева В.Е., Красильников И.В., Красильникова И.А., Касьяненко Н.С. Гетерогенные физико-химические процессы массопереноса агрессивных веществ в структуре бетона железобетонных конструкций, эксплуатируемых в газовой среде с изменяющимися параметрами // Современные проблемы гражданской защиты. 2022. № 4 (45). С. 142–152. EDN VEQJNB.

35. Коровкин Д.И., Низина Т.А., Балыков А.С., Володин В.В. Влияние температурно-влажностного режима на трещиностойкость модифицированных и немодифицированных мелкозернистых бетонов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2019. № 1. С. 15–21. EDN WIFPJT.

36. Федосов С.В., Петрухин А.Б., Федосеев В.Н., Овчинников А.Н. Особенности организационной структуры на этапах жизненного цикла строительного проекта. Анализ взаимодействия подразделений на этапах жизненного цикла строительного объекта // Строительное производство. 2023. № 3. С. 63–68. DOI: 10.54950/26585340_2023_3_63. EDN RZFXRJ.

37. Баженов Ю.М. Технология бетона. М. : Изд-во АСВ, 2002. 500 с.

38. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров: Определения. Теоремы. Формулы / пер. И.Г. Арамановича (ред. пер.) и др. СПб. : Лань, 2003. 831 с.

39. Кутепов А.М., Бондарева Т.И., Беренгартен М.Г. Общая химическая технология: Химические процессы и реакторы. Промышленные химико-технологические процессы. М. : Ленанд, 2022. 512 с.

Поступила в редакцию 8 ноября 2023 г.

Принята в доработанном виде 1 декабря 2023 г.

Одобрена для публикации 4 декабря 2023 г.

Об авторах: **Сергей Викторович Федосов** — доктор технических наук, профессор кафедры технологий и организации строительного производства, академик РААСН; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 105900, Scopus: 7005670404, ResearcherID: B-2409-2017, ORCID: 0000-0001-6117-7529; fedosovsv@mgsu.ru;

Азрий Абрамович Лapidус — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологий и организации строительного производства; советник РААСН; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 8192-2653, Scopus: 57192378750, ResearcherID: B-4104-2016, ORCID: 0000-0001-7846-5770; lapidus58@mail.ru;

Александр Борисович Петрухин — кандидат технических наук, доктор экономических наук, профессор кафедры организации производства и городского хозяйства; **Ивановский государственный политехнический университет (ИВГПУ)**; 153000, г. Иваново, Шереметевский пр-т, д. 21; SPIN-код: 7136-4796, Scopus: 56625618700, ORCID: 0000-0003-1397-996X; a.petruhin@mail.ru;

Борис Евгеньевич Нармания — аспирант кафедры технологий и организации строительного производства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 7486-8316, Scopus: 57215532142, ORCID: 0000-0002-4644-6353; borisfablee@gmail.com.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Moskvina V.M. *Corrosion of concrete*. Moscow, State publishing house of literature on construction and architecture, 1952; 344. (rus.).
2. Rimshin V.I., Varlamov A.A., Kurbatov V.L., Anpilov S.M. Development of the theory of concrete composite degradation. *Construction Materials*. 2019; 6:12-17. DOI: 10.31659/0585-430X-2019-771-6-12-17. EDN AWEKIX. (rus.).
3. Rozental N.K. *Corrosion resistance of cement concretes of low and especially low permeability*. Moscow, FGUP CPP, 2006; 520. (rus.).
4. Stepanova V.F., Rozental N.K., Chekhny G.V., Baev S.M. Determination of corrosion resistance of shotcrete as a protective coating of concrete and reinforced concrete structures. *Construction Materials*. 2018; 8:69-72. DOI: 10.31659/0585-430X-2018-762-8-69-72. EDN UZLDLW. (rus.).
5. Fedosov S.V., Bazanov S.M. *Sulfate corrosion of concrete*. Moscow, ASV Publ., 2003; 192. EDN QNKJWJ. (rus.).
6. Fedosov S.V., Aloyan R.M., Ibragimov A.M., Gnedina L.Yu., Aksakovskaja L.N. *Freezing of wet soils, foundations and foundations*. Moscow, ASV Publ., 2005; 277. (rus.).
7. Konovalova V., Rumyantseva V., Korinchuk M. Intensity of mass transfer processes in concrete with inhibitors in chloride corrosion. *E3S Web of Conferences*. 2023; 410:01009. DOI: 10.1051/e3sconf/202341001009
8. Rozental N.K., Chekhny G.V. Chloride corrosion of reinforcing steel. *Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2022; 35(4):174-185. DOI: 10.37538/2224-9494-2022-4(35)-174-185. EDN MQVBIB. (rus.).
9. Alekseev S.N., Rozental N.K. *Corrosion resistance of reinforced concrete structures in an aggressive industrial environment*. Moscow, Stroyizdat Publ., 1976; 205. (rus.).
10. Selyaev V.P., Selyaev P.V., Khamza Y.E. Foundations of the theory of degradation and prediction of the durability of reinforced concrete structures, taking into account the fractal structure of the structure. *Expert: Theory and Practice*. 2022; 1(16):23-36. DOI: 10.51608/26867818_2022_1_23. EDN BPDPMZ. (rus.).

11. Fedosov S.V., Stepanova V.F., Rummyantseva V.E., Kotlov V.G., Stepanov A.Yu., Konovalova V.S. *Corrosion of building materials: problems, solutions*. Moscow, ASV Publ., 2022; 400. (rus.).
12. Strokin K.B., Novikov D.G., Konovalova V.S., Kasiyanenko N.S. The influence of microorganisms on the physical and mechanical properties of concrete. *Bulletin of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*. 2021; 10:90-98. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-10-90-98. EDN NQOOZC. (rus.).
13. Erofeev V., Smirnov V., Dergunova A., Bogatov A., Letkina N. Development and research of methods to improve the biostability of building materials. *Materials Science Forum*. 2019; 974:305-311. DOI: 10.4028/www.scientific.net/msf.974.305
14. Smirnov V.F., Svetlov D.A., Zotkina M.M., Svetlov D.D., Bazhanova M.E., Vildieva M.V., Zakharova E.A. Environmental aspects of biocorrosion and improvement of biostability of building materials materials. *Vestnik of Volga State University of Technology. Series "Materials. Constructions. Technologies"*. 2021; 4(20):14-26. DOI: 10.25686/2542-114X.2021.4.14. EDN ZSDKVA. (rus.).
15. Kochina T.A., Kondratenko Y.A., Shilova O.A., Vlasov D.Yu. Biocorrosion, biofouling, and advanced methods of controlling them. *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*. 2022; 58(1):129-150. DOI: 10.1134/S2070205122010129
16. Gusev B.V., Faivusovich A.S. Mathematical modeling of concrete corrosion processes. *Industrial and Civil Engineering*. 2022; 11:68-75. DOI: 10.33622/0869-7019.2022.11.68-75. EDN UDAXDI. (rus.).
17. Chernyshov E., Fedosov S., Rummyantseva V. Development of methods for predicting the durability of building structures based on the development of the theory and models of concrete corrosion taking into account the phenomena of heat and mass transfer and the formation of gradient states. *Academia. Architecture and Construction*. 2023; 1:89-100. DOI: 10.22337/2077-9038-2023-1-89-100. EDN LUOBRF. (rus.).
18. Fedosov S.V., Rummyantseva V.E., Krasilnikov I.V., Krasilnikova I.A. Mathematical modeling of unsteady mass transfer in the cement concrete-liquid medium system, limited by internal diffusion and external mass transfer. *Construction Materials*. 2022; 1-2:134-140. DOI: 10.31659/0585-430X-2022-799-1-2-134-140. EDN SIGNGF. (rus.).
19. Vromans A., Muntean A., van de Ven F. A mixture theory-based concrete corrosion model coupling chemical reactions, diffusion and mechanics. *Pacific Journal of Mathematics for Industry*. 2018; 10(1). DOI: 10.1186/s40736-018-0039-6
20. Fedosov S.V., Aleksandrova O.V., Lipidus A.A., Kuzmina T.K., Topchiy D.V. An engineering method of analyzing the dynamics of mass transfer during concrete corrosion processes in offshore structures. *Materials*. 2023; 16(10):3705. DOI: 10.3390/ma16103705
21. Zhu X., Meng Z., Liu Y., Xu L., Chen Z. Entire process simulation of corrosion due to the ingress of chloride ions and CO₂ in concrete. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2018; 2018:1-12. DOI: 10.1155/2018/9254865
22. Fedosov S.V. *Heat and mass transfer in the technological processes of the construction industry*. Ivanovo, PresSto Publ., 2010; 364. EDN QNOQOV. (rus.).
23. Fedosov S.V., Rummyantseva V.E., Krasilnikov I.V., Konovalova V.S. Physical and mathematical modelling of the mass transfer process in heterogeneous systems under corrosion destruction of reinforced concrete structures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018; 456:012039. DOI: 10.1088/1757-899X/456/1/012039
24. Fedosov S.V., Rummyantseva V.E., Krasilnikov I.V., Konovalova V.S., Evsyakov A.S. Mathematical modeling of the colmatation of concrete pores during corrosion. *Magazine of Civil Engineering*. 2018; 7 (83):198-207. DOI: 10.18720/MCE.83.18. EDN SIZQZP.
25. Fedosov S.V., Rummyantseva V.E., Krasilnikov I.V., Narmania B.E. Formulation of mathematical problem describing physical and chemical processes at concrete corrosion. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2017; 13(2):45-49. DOI: 10.22337/2587-9618-2017-13-2-45-49
26. Fedosov S.V., Rummyantseva V.E., Krasilnikov I.V. *Methods of mathematical physics in applications to the problems of concrete corrosion in liquid aggressive media*. Moscow, ASV, 2022; 244. EDN QRKKFL. (rus.).
27. Fedosov S.V., Anisimova N.K. *Heat and mass transfer*. Ivanovo, ISUAC, 2004; 103. EDN QMIMUL. (rus.).
28. Salihu F., Guri Z., Cvetkovska M., Pillana F. Fire resistance analysis of two-way reinforced concrete slabs. *Civil Engineering Journal*. 2023; 9(05):1085-1104. DOI: 10.28991/CEJ-2023-09-05-05
29. Rummyantseva V.E., Krasilnikov I.V., Krasilnikova I.A., Novikova U.A., Kasyanenko N.S. Research of the effect of temperature on the intensity of mass transfer in the process corrosion of the first type of cement concrete. *The journal Modern problems of civil protection*. 2022; 1(42):24-31. EDN UKZZCT. (rus.).
30. Liu Q., Wei D., Zhang H., Zhai C., Gan Y. A numerical investigation on effective diffusion in cement-based composites: The role of aggregate shape. *Transport in Porous Media*. 2022; 143(3):681-702. DOI: 10.1007/s11242-022-01804-5
31. Fedosov S.V., Mizonov V.E. *Fundamentals of theory and mathematical modeling of mechanical and thermal processes in the production of building materials*. Beau Bassin, Palmarium Academic Publishing, 2020; 256. EDN LGOPFPZ. (rus.).

32. Kartashov E.M., Kudinov V.A. *Analytical methods of the theory of thermal conductivity and its application*. Moscow, Lenand Publ., 2018; 1078. (rus.).

33. Bretti G., Ceseri M., Natalini R. A moving boundary problem for reaction and diffusion processes in concrete: Carbonation advancement and carbonation shrinkage. *Discrete and Continuous Dynamical Systems — S*. 2022; 15(8):2033. DOI: 10.3934/dcdss.2022092

34. Fedosov S.V., Rumyantseva V.E., Krasilnikov I.V., Krasilnikova I.A., Kasyanenko N.S. Heterogeneous physico-chemical processes of mass transfer of aggressive substances in the concrete structure of reinforced concrete structures operated in a gas environment with varying parameters. *The Journal Modern Problems of Civil Protection*. 2022; 4(45):142-152. EDN VEQJHB. (rus.).

35. Korovkin D.I., Nizina T.A., Balykov A.S., Volodin V.V. The influence of temperature and humidity on crack resistance of the modified and non-modified

fine-grained concretes. *Vestnik of Volga State University of Technology. Series “Materials. Constructions. Technologies”*. 2019; 1:15-21. EDN WIFPJT. (rus.).

36. Fedosov S.V., Petrukhin A.B., Fedoseev V.N., Ovchinnikov A.N. Features of the Organizational Structure at the Stages of the Life Cycle of a Construction Project Analysis of the interaction of departments at the stages of the life cycle of a construction object. *Construction Production*. 2023; 3:63-68. DOI: 10.54950/26585340_2023_3_63. EDN RZFXRJ. (rus.).

37. Bazhenov Yu.M. *Concrete technology*. Moscow, ASV Publ., 2002; 500. (rus.).

38. Korn G., Korn T. *Handbook of Mathematics for Researchers and Engineers: Definitions. Theorems. Formulas*. St. Petersburg, Lan Publ., 2003; 831. (rus.).

39. Kutepov A.M., Bondareva T.I., Berengarten M.G. *General chemical technology: Chemical processes and reactors. Industrial chemical and technological processes*. Moscow, Lenand Publ., 2022; 512. (rus.).

Received November 8, 2023.

Adopted in revised form on December 1, 2023.

Approved for publication on December 4, 2023.

B I O N O T E S : **Sergey V. Fedosov** — Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Building Materials Science, Academician of Russian Academy of Architectural and Construction Sciences; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; ID RSCI: 105900, Scopus: 7005670404, ResearcherID: B-2409-2017, ORCID: 0000-0001-6117-7529; fedosovsv@mgsu.ru;

Azariy A. Lapidus — Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technology and Organization of Construction Production, Adviser to the Russian Academy of Architectural and Construction Sciences; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; SPIN-code: 8192-2653, Scopus: 57192378750, ResearcherID: B-4104-2016, ORCID: 0000-0001-7846-5770; lapidus58@mail.ru;

Alexander B. Petrukhin — Candidate of Technical Sciences, Doctor of Economic Sciences, Professor of the Department of Organization of Production and Urban Economy; **Ivanovo State Polytechnic University (IVSPU)**; 21 Sheremetevskiyt ave., Ivanovo, 153000, Russian Federation; SPIN-code: 7136-4796, Scopus: 56625618700, ORCID: 0000-0003-1397-996X; a.petruhin@mail.ru;

Boris E. Narmaniya — postgraduate student of the Department of Building Materials Science; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; SPIN-code: 7486-8316, Scopus: 57215532142, ORCID: 0000-0002-4644-6353; borisfablee@gmail.com.

Contribution of the authors: all authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare no conflicts of interest.

Реализация государственной политики в вопросах
инновационного развития сферы теплоснабжения

Юрий Октавьевич Бакрунов, Валерия Викторовна Глазкова
Национальный исследовательский Московский государственный строительный
университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Государственная политика в сфере теплоснабжения, ориентированная на повышение эффективности и надежности, энергетической безопасности, реализуется посредством единых теплоснабжающих организаций (ЕТО), выступающих центром ответственности, модернизации и технологического развития теплоснабжения на закрепленной территории. Одним из приоритетных направлений модернизации теплоснабжения является его инновационное развитие. Цель исследования — рассмотрение направлений реализации государственной политики в вопросах инновационного развития сферы теплоснабжения, в частности исследование вопросов инновационного совершенствования ЕТО. Процесс внедрения инноваций в исследовании представлен тремя основными этапами — подготовительным, реализационным и заключительным. Рассмотрение содержательной характеристики подготовительного этапа позволило выделить методы внедрения инноваций в ЕТО и соответствующий методический инструментарий. В ходе изучения особенностей реализационного этапа внедрения инноваций определена его последовательность применительно к ЕТО с учетом их специфики. Описание заключительного этапа позволило детализировать процессы мониторинга и контроля за реализацией инноваций в ЕТО.

Материалы и методы. Нормативной основой исследования послужили законодательные акты РФ, регулирующие деятельность теплоснабжения и определяющие направления государственной политики в рассматриваемой сфере. Теоретической основой исследования стали труды российских и зарубежных авторов по вопросам развития, модернизации, технического перевооружения сферы теплоснабжения и ее инновационного развития. Методической основой выступили методы эмпирического и теоретического уровней.

Результаты. Результатом исследования является сформированный методический подход к внедрению инноваций в ЕТО, направленный на реализацию государственной политики в сфере теплоснабжения, включающий выделение особенностей подготовительного, реализационного и заключительного этапов внедрения инноваций в организации.

Выводы. Закрепленные законодательно стратегические перспективы развития сферы теплоснабжения предусматривают реализацию программ инновационного развития теплоснабжения, поддержка которых должна осуществляться со стороны государства, а реализация — едиными теплоснабжающими организациями, отвечающими за развитие системы теплоснабжения на закрепленной за ними территории, что обуславливает целесообразность подробного рассмотрения вопросов инновационного развития указанного субъекта теплоснабжения, реализующего государственную политику в рассматриваемой сфере.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сфера теплоснабжения, единые теплоснабжающие организации, инновации, инновационное развитие теплоснабжения

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Бакрунов Ю.О., Глазкова В.В. Реализация государственной политики в вопросах инновационного развития сферы теплоснабжения // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19. Вып. 1. С. 138–147. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.1.138-147

Автор, ответственный за переписку: Валерия Викторовна Глазкова, leram86@mail.ru.

Implementation of the state policy for innovative development
of the heat supply sector

Yuri O. Bakrunov, Valeriya V. Glazkova
Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The state policy in the sphere of heat supply, aimed at improving the efficiency and reliability of this sphere, as well as achieving its energy security property, is implemented through the functioning of unified heat supply organizations (UHSO), acting as the centre of responsibility, modernization and technological development of heat supply in the assigned territory. One of the priority directions of modernization of heat supply is its innovative development, therefore the purpose of the study is to consider the directions of state policy implementation in the issues of innovative development of the heat supply sector, in particular, the study of issues of innovative development of UHSO. The process of innovation implementation in the study is represented by three main stages — preparatory, implementation and final. Consideration of the content

characteristics of the preparatory stage made it possible to identify the methods of introducing innovations into unified heat supply organizations and the tools corresponding to the methods. In the course of studying the features of the implementation stage of innovation, the sequence of the implementation stage of innovation in relation to the unified heat supply organizations, taking into account their specifics, is determined. The description of the final stage made it possible to detail the processes of monitoring and control over the implementation of innovations in UHSO.

Materials and methods. The normative basis of the study was the legislative acts of the Russian Federation regulating the heat supply activities and determining the directions of state policy in the sphere under consideration. The theoretical basis of the research is the works of Russian and foreign authors on the issues of development, modernization, technical re-equipment of the heat supply sector and its innovative development. The methods of empirical and theoretical levels are the methodological basis.

Results. The result of the research is the developed methodological approach to the introduction of innovations into unified heat supply organizations authorized to implement the state policy in the sphere of heat supply, including the identification of the features of the preparatory, implementation and final stages of innovation in the organization.

Conclusions. The strategic prospects of the heat supply sphere development fixed by the legislation provide for the implementation of programmes of innovative development of heat supply, which should be supported by the state, and the implementation should be carried out by unified heat supplying organizations responsible for the development of the heat supply system in the territory assigned to them, which makes it expedient to consider in detail the issues of innovative development of the heat supply subject implementing the state policy in the heat supply sphere.

KEYWORDS: heat supply sphere, unified heat supply organizations, innovations, innovative development of heat supply

FOR CITATION: Bakrunov Yu.O., Glazkova V.V. Implementation of the state policy for innovative development of the heat supply sector. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2024; 19(1):138-147. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.1.138-147 (rus.).

Corresponding authors: Valeria V. Glazkova, leram86@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

В конце мая 2023 г. Правительство РФ утвердило Концепцию технологического развития на период до 2030 года, направленную на развитие высокотехнологичных отраслей нашей страны и ускорение инновационно ориентированного роста отечественной экономики. Социально-экономический прогресс России и улучшение качества жизни населения, модернизацию российской экономики и становление ее на инновационный путь развития, достижение нужного уровня конкурентоспособности отечественных продуктов и услуг на мировых рынках в соответствии с актуальными вызовами внешней среды и открывающимися на сегодняшний момент возможностями трудно осуществить без поддержки инновационной деятельности со стороны государства, которую необходимо выстраивать на основе приоритетности результатов инновацион-

ной деятельности и опережающего развития инновационной инфраструктуры, обеспечивая при этом требуемый уровень эффективности государственной поддержки инновационного развития и инновационной деятельности.

Топливо-энергетический комплекс (ТЭК) нашей страны, являющийся одной из важных составляющих экономики России, также нуждается в технологическом и инновационном совершенствовании и поддержке со стороны государства. Данные, отражающие уровень технологического развития энергетики России, показывают снижение с 2013 г. (рис. 1), в абсолютном значении в среднем за исследуемый период уровень технологического развития отечественной энергетики составляет лишь 22,98 %.

Сфера теплоснабжения, как составная часть ТЭК, также нуждается в повышении уровня технологического развития и модернизации, достижении эффективности и надежности функционирования,

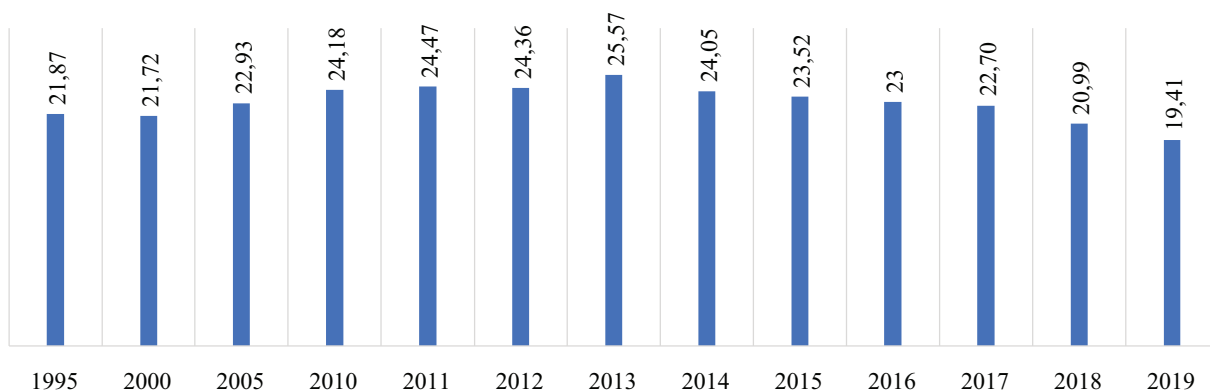


Рис. 1. Уровень технологического развития энергетики России за период 1995–2019 гг., % (составлен авторами на основе данных EES EAEC. Мировая энергетика, раздел Энергетический профиль России)

Fig. 1. The level of technological development of the Russian energy sector for the period 1995–2019, % (compiled by the author on the basis of EES EAEC data. World energy, section Energy profile of Russia)

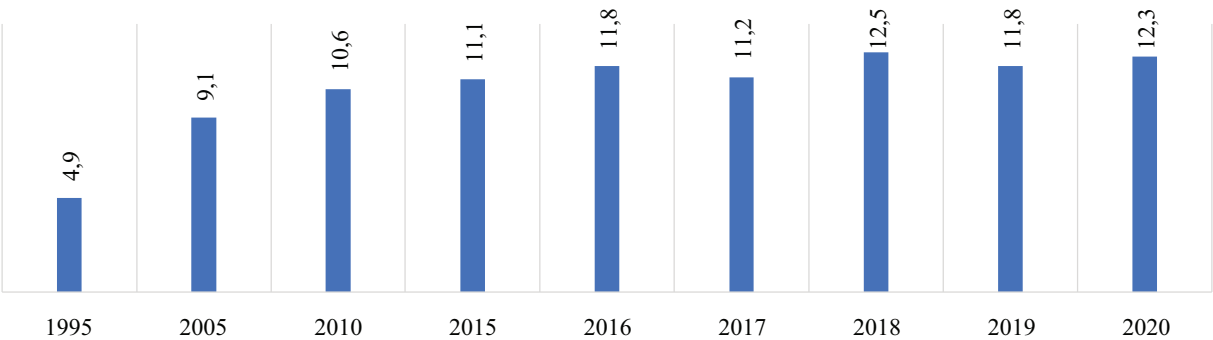


Рис. 2. Динамика потерь тепла в сетях теплоснабжения РФ, % (составлен авторами по данным Росстата)

Fig. 2. Dynamics of heat losses in heat supply networks in the Russian Federation, % (compiled by the author based on Rosstat data)

что определяет необходимость ее инновационного прогресса, который, по мнению исследователей вопросов совершенствования функционирования теплоснабжения, ускоряет темпы его технического перевооружения [1–5]. Еще одним аспектом, формирующим необходимость инновационного развития теплоснабжения, является тезис о том, что указанные процессы способствуют повышению качества реализации программ энергосбережения и ресурсосбережения в рассматриваемой сфере [3, 6].

Действительно, к текущему моменту в сфере теплоснабжения появилось много проблем [7–9], которые в конечном итоге привели к снижению эффективности и надежности рассматриваемой сферы:

к 2020 г. потери тепла в сетях выросли в 2,51 раза по сравнению с 1995 г. (рис. 2), а увеличивающееся количество аварий в системах теплоснабжения все чаще снижает качество жизни населения, потребляющего данные услуги (рис. 3).

Вместе с тем уже применяемые на практике в ходе реализации проектов по модернизации системы теплоснабжения инновационные решения доказывают повышение надежности и эффективности функционирования рассматриваемой системы. К примеру, внедренный не так давно АО «Русатом Инфраструктурные решения» программный комплекс «Цифровое теплоснабжение» показывает статистику, согласно которой происходит снижение потерь в се-

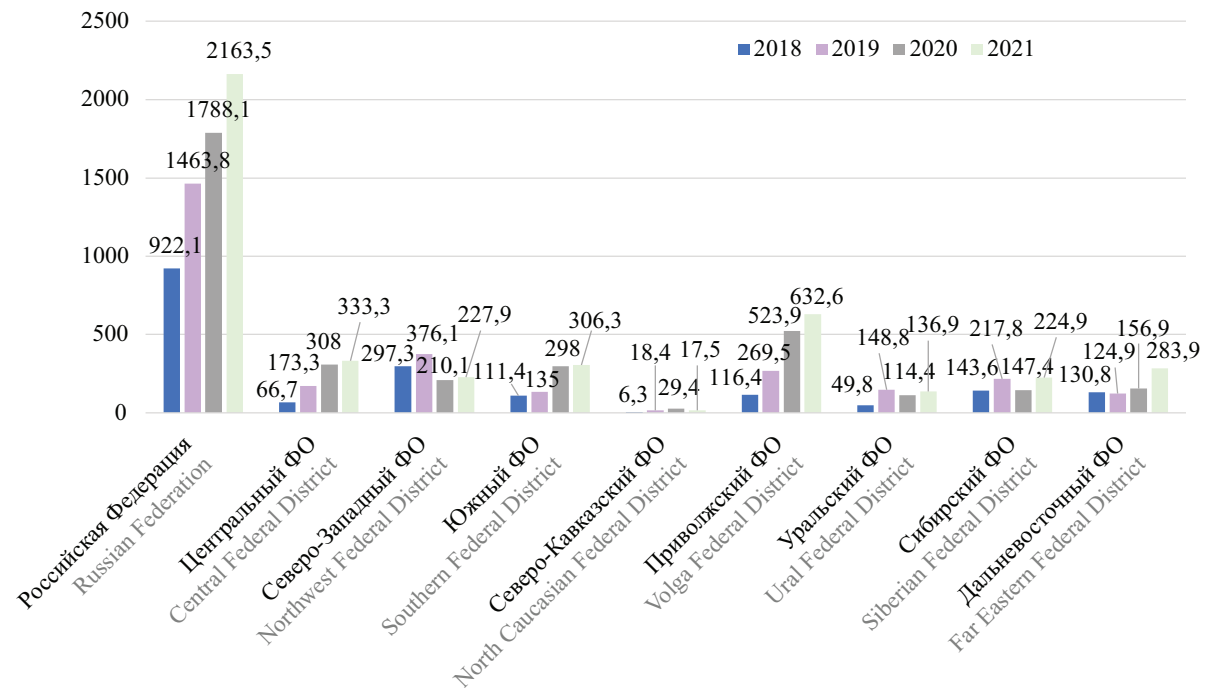


Рис. 3. Число людей, пострадавших при авариях на тепловых сетях и объектах теплоснабжения по федеральным округам за период 2018–2021 гг., тыс. чел. (составлен авторами на основе Отчета о состоянии теплоэнергетики и централизованного теплоснабжения в Российской Федерации в 2021 г.)

Fig. 3. The number of people injured in accidents at heating networks and heat supply facilities in federal districts for the period 2018–2021, thousand people (compiled by the author on the basis of the Report on the state of heat power and district heating in the Russian Federation in 2021)

тях на 11 %, сокращение энергопотребления на 20 %, рост производительности труда контролеров на 60 %, снижение затрат на ремонты до 5 %. Значительного сокращения затрат удалось добиться при ремонте оборудования с использованием инновационных подходов к диагностике на Балаковской ТЭЦ-4 и Ульяновской ТЭЦ-1 и др. [10, 11]. Таким образом, инновационное развитие системы теплоснабжения России приносит пользу как потребителям услуг, так и организациям, реализующим эти услуги.

Основной закон, регулирующий деятельность теплоснабжения и определяющий векторы его развития (ФЗ от 27.07.2010 № 190 «О теплоснабжении»)¹, содержит, среди прочего, основные положения государственной политики в рассматриваемой сфере, направленные на повышение ее эффективности, что, согласно ст. 3 ФЗ № 190, достигается через осуществление процессов развития и модернизации данной сферы, а также решение ее проблемных областей. Кроме того, необходимость использования энергосберегающих технологий и оборудования, альтернативных источников теплоснабжения и повышения уровня когенерации обозначена в Энергетической стратегии РФ на период до 2035 г. Достижение национальных стратегических целей в указанных направлениях возможно за счет технологического развития сферы теплоснабжения и реализации программ ее инновационного совершенствования.

¹ О теплоснабжении : Федеральный закон от 27.07.2010 № 190-ФЗ.

По оценкам Министерства энергетики России, модернизация теплоснабжения, в том числе с использованием инноваций, должна привести к снижению аварийных ситуаций на 5 % уже к 2024 г., далее этот показатель должен стабильно снижаться.

Учитывая принятые документы, регулирующие вопросы развития сферы теплоснабжения, нельзя не отметить, что органами законодательной власти сформированы направления государственной политики в рассматриваемой сфере, включая вопросы ее инновационного развития. Органам исполнительной власти необходимо реализовывать эту политику, и значительная роль в этом процессе отводится единым теплоснабжающим организациям (ЕТО), которые, в соответствии с ФЗ № 190, уполномочены на реализацию государственной политики в сфере теплоснабжения в порядке, установленном правилами организации теплоснабжения, утвержденными Правительством РФ, и отвечают за качество и надежность предоставляемых потребителю услуг на закрепленной территории, а также развитие системы теплоснабжения (рис. 4).

В этой связи целесообразно остановиться подробнее на вопросах инновационного развития указанного субъекта теплоснабжения, реализующего государственную политику в рассматриваемой сфере.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Внедрение инноваций в деятельность ЕТО должно обеспечиваться трансформацией как произ-



Рис. 4. Характеристика и роль ЕТО (составлен авторами)
Fig. 4. Characteristics and role of UHSO (compiled by the author)

водственной, так и организационной и финансовой подсистем организации и проходить в несколько этапов (рис. 5) [12].

Остановимся подробнее на описании каждого из представленных на рис. 5 этапов применительно к объекту настоящего исследования — единым теплоснабжающим организациям.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. *Подготовительный этап.* Несмотря на то что на подготовительном этапе еще не осуществляются непосредственно инновационная деятельность и внедрение инноваций, значимость его довольно высока, так как именно на этом этапе устанавливаются предпосылки успешного внедрения иннова-

ций, а также готовность и способность организации к инновационному развитию. Эти моменты способствуют выработке «дорожной карты» инновационного развития ЕТО и выявлению результатов, к которым стремится организация в ходе внедрения инноваций в свою деятельность. На подготовительном этапе целесообразно определить вид инноваций, необходимых для внедрения в организацию, способ их разработки, требуемый объем финансирования и его источники, степень готовности подсистем организации и кадров к внедрению инноваций. Концептуально подготовительный этап внедрения инноваций в деятельность ЕТО и систему теплоснабжения можно представить в виде следующего подхода (рис. 6).

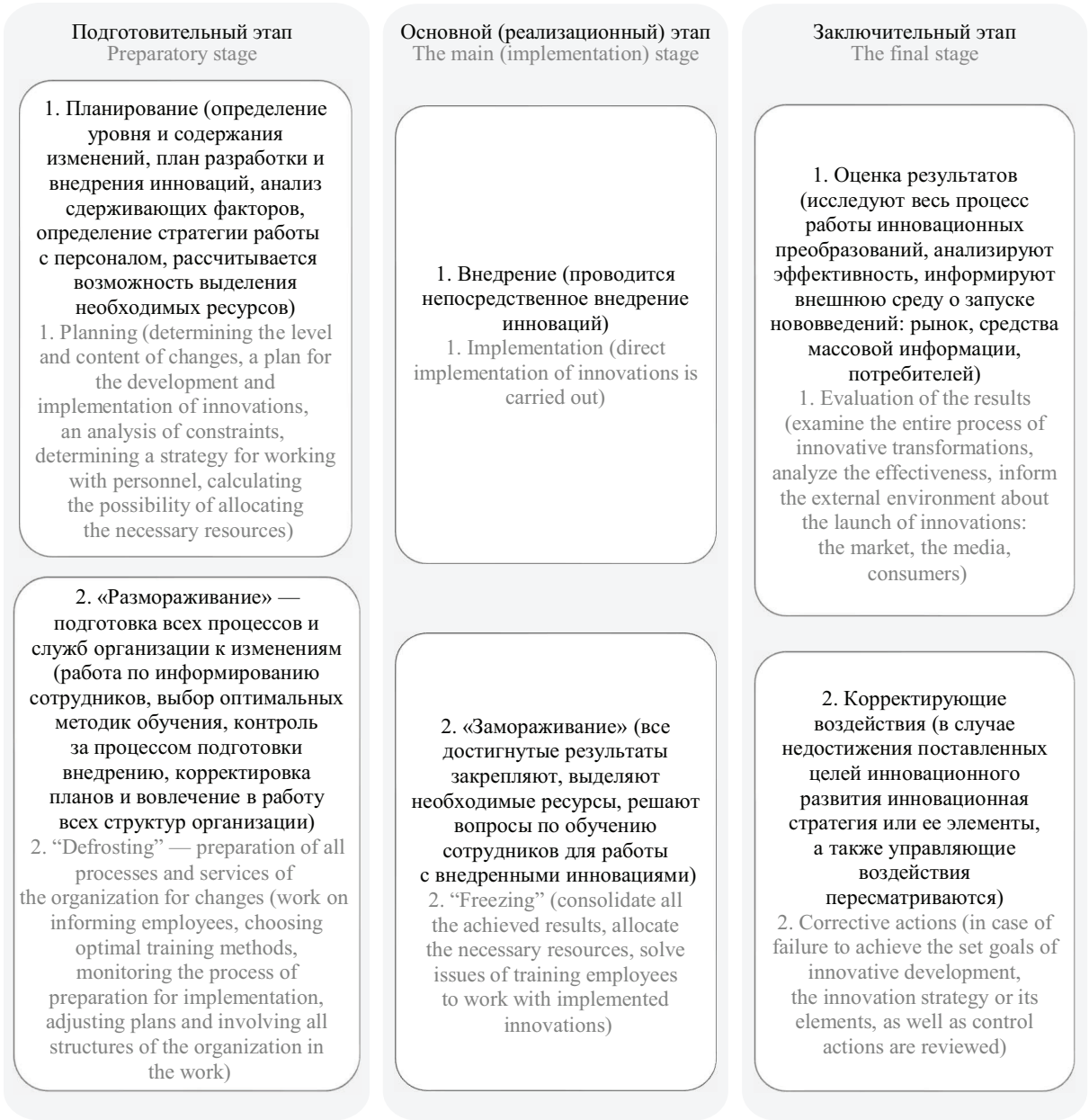


Рис. 5. Укрупненные этапы внедрения инноваций в организацию (составлен авторами)
Fig. 5. Enlarged stages of innovation implementation in the organization (compiled by the author)

2. *Основной (реализационный) этап.* На данном этапе происходит непосредственное внедрение инноваций в ЕТО. С точки зрения организационно-управленческого подхода этот этап предполагает использование методов внедрения инноваций и соответствующих методов инструментов: возможность использования принудительного метода через реализацию властных полномочий при активном сопротивлении со стороны персонала переменам, вызванным внедрением инноваций; использование метода адаптивных отклонений, предполагающего применение инструментов побуждения и убеждения для достижения компромисса и постепенного внедрения нововведений в деятельность организации; метода управления кризисной ситуацией, когда под угрозу становится существование организации

и в качестве инструментов используется принуждение, основанное на наличии властных полномочий.

Внедрение инноваций на рассматриваемом этапе предполагает формирование рабочей группы или команды, которая будет реализовывать мероприятия по инновационному развитию организации или внедрению конкретной инновации, осуществлению координационных действий для слаженной работы всех подразделений ЕТО, задействованных во внедрении инноваций, выбору метода и инструментов внедрения инноваций, включая разработку мер по борьбе с сопротивлением инновационному развитию, а также осуществлению мероприятий по внедрению инноваций в соответствии с утвержденным на подготовительном этапе планом реализации инновационного развития ЕТО. С учетом спе-

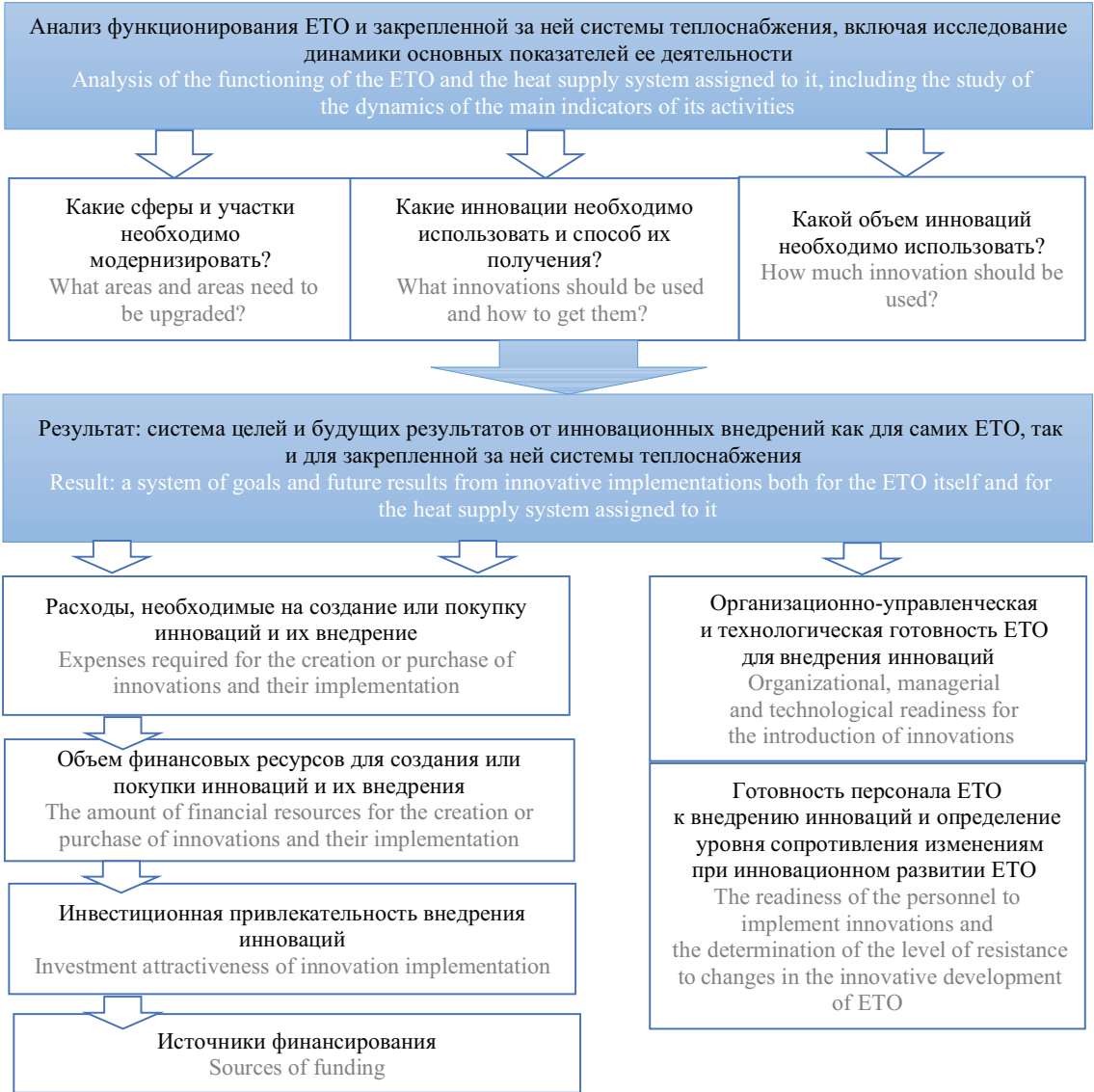


Рис. 6. Концептуальный подход к проведению подготовительного этапа внедрения инноваций в деятельность ЕТО и систему теплоснабжения (составлен авторами)

Fig. 6. Conceptual approach to the preparatory stage of the introduction of innovations in the activities of UHSO and the heat supply system (compiled by the author)

Организационные этапы внедрения инноваций в деятельность единых теплоснабжающих организаций (составлена авторами)

Organizational stages of innovation implementation in the activities of unified heat supply organizations (compiled by the author)

Этап Stage	Ответственные лица Responsible persons
Создание управленческой команды, отвечающей за внедрение инноваций Creation of a management team responsible for the implementation of innovations	Директор ЕТО с первыми заместителями, главный инженер Director of UHSO with first deputies, Chief Engineer
Организация взаимодействия подразделений, участвующих во внедрении и реализации инноваций Organization of interaction of departments involved in the introduction and implementation of innovations	Директор ЕТО с первыми заместителями, главный инженер, руководители функциональных подразделений ЕТО Director of UHSO with first deputies, chief Engineer, heads of functional divisions of UHSO
Выбор метода внедрения инноваций зависимости от степени готовности ЕТО к инновационному развитию и ее инновационного потенциала The choice of the method of innovation implementation depends on the degree of readiness of UHSO for innovative development and its innovative potential	Директор ЕТО с первыми заместителями, главный инженер Director of UHSO with first deputies, Chief Engineer
Организация внедрения инноваций и реализация инновационных изменений Organization of innovation implementation and implementation of innovative changes	Главный инженер, руководители функциональных подразделений ЕТО Chief Engineer, heads of functional divisions of UHSO

цифики ЕТО перечисленные шаги представим в виде таблицы.

Вместе с тем реализационный этап не заканчивается на проведении мероприятий по внедрению инноваций. Его итогом должно быть закрепление результатов данного процесса, предполагая, что в случае положительных результатов внедрение инновации возможно далее масштабировать.

3. *Заключительный этап.* Понять, результативно ли было внедрение инноваций в ЕТО и систему теплоснабжения, за ней закрепленную, можно на заключительном этапе внедрения инноваций, предполагающем мониторинг исследуемого процесса, который можно представить в виде шагов, перечисленных на рис. 7.

Мониторинг процесса предполагает непрерывный контроль за его осуществлением. Конечным результатом выполнения функции контроля за реализацией инноваций в ЕТО является оценка эффективности данного процесса, которая должна учитывать не только экономическую составляющую,

но и позволить определить социальный эффект, получаемый в результате повышения надежности и бесперебойности оказания услуг теплоснабжения в ходе технологических улучшений в системе в результате инновационного развития [13–15].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Таким образом, закрепленные законодательно стратегические перспективы развития сферы теплоснабжения подразумевают исполнение программ инновационного развития, а субъектом, реализующим государственную политику в рассматриваемой сфере, являются единые теплоснабжающие организации, отвечающие за развитие системы теплоснабжения на закрепленной за ними территории. Исследуя вопрос инновационного развития данного субъекта теплоснабжения, отметим значительный вклад каждого из этапов выполнения инновационного развития ЕТО, способствующего эффективной инновационной деятельности указанных организаций, начиная с проведения подготовительных

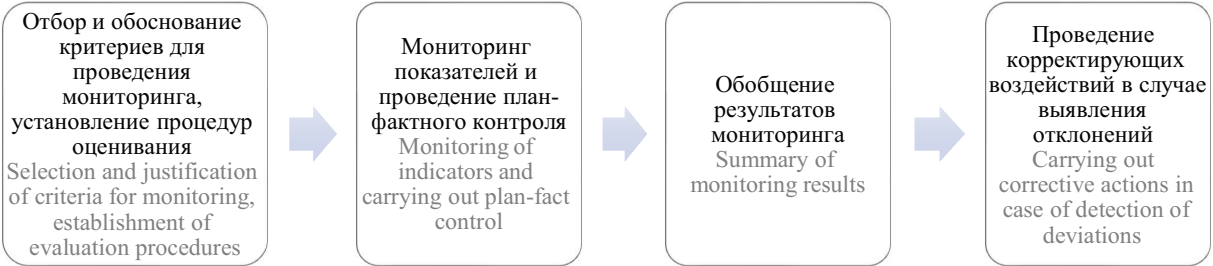


Рис. 7. Этапы мониторинга внедрения и реализации инновации в организации (составлен авторами)

Fig. 7. Stages of monitoring the introduction and implementation of innovation in the organization (compiled by the author)

процедур, далее проведения организационных и реализационных мероприятий и степени их скоординированности, заканчивая своевременным контролем за исследуемым процессом. Эффективное осуществление инновационного развития ЕТО и закреплённой за ней системы теплоснабжения способствует достижению стратегических целей государственной политики в области развития теплоснабжения, в частности, достижению требуемого достойного уровня комфорта в жилых помещениях, соответствующего высоким стандартам обеспеченности населения услугами теплоснабжения при их доступной стоимости, повышению технического уровня систем теплоснабжения, их энергоэффективности, экономичности и ресурсосбережению, и в целом обеспечивает управляемость, надёжность и безопасность отечественного теплоснабжения.

Необходимость поддержки инновационного развития теплоснабжения со стороны государства требует решения и других ключевых проблем, главной из которых является привлечение инвестиций в рассматриваемую сферу, так как процессы внедрения и реализации инноваций подразумевают дополнительные финансовые вложения [16]. Однако эксперты отмечают, что условий для привлечения инвестиций без государственного участия в отечественном теплоснабжении до сих пор не создано, усугубляется это положение и «хроническими» неплатежами населения за потреблённую тепловую энергию [17].

Помимо этого, государственного участия требует совершенствование нормативной базы по вопросам развития теплоснабжения, которая на текущий момент времени характеризуется несбалансированностью, неурегулированностью ряда вопросов и неоднозначностью толкования отдельных норм отечественного теплоснабжения, а также связанных с ним межотраслевых норм, в частности норм

теплоснабжения и градостроительных норм, норм земельного законодательства, несбалансированность в моделях развития рынка электроэнергетики и сферы теплоснабжения, что влияет на объёмы когенерации и др. [18]. Кроме того, в настоящий момент основным нормативным документом, регулирующим развитие теплоснабжения в России, является Энергетическая стратегия России до 2035 г., в рамках которой теплоснабжение рассматривается как один из составляющих элементов ТЭК России. В этой связи представляется необходимым сформировать отдельно государственную стратегию развития теплоснабжения, включающую систематизированные представления о направлениях развития сферы и мерах, способствующих этому развитию, в том числе инновационного характера, чтобы решение проблемных областей теплоснабжения России не носило «точечный» характер. Такой подход будет содействовать и координации усилий между органами государственной власти на региональном уровне и органами муниципального управления в части консолидации их действий в направлении развития систем теплоснабжения, их модернизации и технического перевооружения, что в значительной мере снизит риски развития систем теплоснабжения, в том числе инновационного развития.

Говоря об инновационном развитии отечественного теплоснабжения, нельзя забывать о формировании и реализации единой научно-исследовательской политики в рассматриваемой сфере, которая будет способствовать развитию современных технологий и созданию эффективных, безопасных, энергосберегающих элементов системы теплоснабжения [19], так как при отсутствии системной политики в научно-исследовательском направлении отслеживать новые технологии и оценивать предлагаемые технологические решения представляется затруднительным.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Stennikov V., Penkovskii A. Problems of Russian heat supply and ways of their solution // E3S Web of Conferences. 2020. P. 02003. DOI: 10.1051/e3sconf/202021902003. EDN SUJIYM.
2. Malkova T.B., Malkov A.V. Problems polyene innovation activities of enterprises heat supply in the region // Economy in the Industry. 2018. Vol. 11. Issue 2. Pp. 169–176. DOI: 10.17073/2072-1633-2018-2-169-176
3. Галицкий В.В., Зайцев В.А., Гашио Е.Г. Повышение надёжности теплоснабжения как инструмент энергоэффективности при эксплуатации тепловой сети // Безопасность в техносфере. 2012. Т. 1. № 6. С. 52–56. EDN PUJEEH.
4. Verstina N., Evseev E., Tsuverkalova O. Strategic planning of construction and reconstruction of the facilities of the heat supply systems with the use of scenar-

- io approach // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 263. P. 05028. DOI: 10.1051/e3sconf/202126305028. EDN FXCCIQ.
5. Evseev E., Kisel T. Integrated efficiency evaluation of the heat-supplying enterprises activity // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 164. P. 01024. DOI: 10.1051/e3sconf/202016401024. EDN NUIADE.
6. Теличенко В.И., Гогина Е.С. Комплексный подход к проведению энергоэффективной модернизации жилых зданий и систем теплоснабжения // Градостроительство. 2012. № 2 (18). С. 72–74. URL: https://stroimsk.ru/builder_science/kompleksnyi-podhod-k-provedeniю-energoeffektivnoi-modernizatsii-zhilyh-zdaniy-i-sistem-teplosnabzheniya. EDN OXGWGX.
7. Andreev Yu.V., Grekov M.A., Proskurin V.M., Novikova O.V. Reliability and efficiency of heat supply

systems in the Leningrad region // Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1683. Issue 4. P. 042027. DOI: 10.1088/1742-6596/1683/4/042027

8. Verstina N., Solopova N., Taskaeva N., Meshcheryakova T., Shchepkina N. A new approach to assessing the energy efficiency of industrial facilities // Buildings. 2022. Vol. 12. Issue 2. P. 191. DOI: 10.3390/buildings12020191

9. Štreimikienė D., Strielkowski V., Lisin E., Kurdiukova G. Pathways for sustainable development of urban heat supply systems // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 208. P. 04001. DOI: 10.1051/e3sconf/202020804001

10. Bezhan A.V. Heat supply efficiency improvement in the Arctic regions with an increased wind potency // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 976. Issue 1. P. 012006. DOI: 10.1088/1757-899x/976/1/012006

11. Verstina N., Evseev E., Tsuverkalova O., Kulachinskaya A. The technical state of engineering systems as an important factor of heat supply organizations management in modern conditions // Energies. 2022. Vol. 15. Issue 3. P. 1015. DOI: 10.3390/en15031015

12. Маматова Н.А. Теория инноваций : учебное пособие. Белгород : НИУ «БелГУ», 2017. 99 с.

13. Astratova G.V., Rutkauskas T.K., Rutkauskas K.V., Klimuk V.V. Creating an environmentally safe and reliable heat supply system through the introduction of energy-saving technologies in housing and common utilities services // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 265. P. 04020. DOI: 10.1051/e3sconf/202126504020

14. Glazkova V.V. Principles of ecological and economic management of innovative development of heat supply // Finance, Economics, and Industry for Sustainable Development. 2023. Pp. 211–221. DOI: 10.1007/978-3-031-30498-9_19

15. Evseev E., Kisel T. Management in the heat-supplying organizations on the basis of balance models // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 170. P. 01112. DOI: 10.1051/matecconf/201817001112

16. Глазкова В.В., Господарик Е.Г. Развитие государственно-частного партнерства на основе концессий в сфере теплоснабжения // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. № 5. С. 798–807. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.5.798–807

17. Kuchkovskaya N.V., Zabaikin Yu.V., Baisaeva M.U., Kosareva I.A., Calesci M. Risk assessment regarding the implementation of public-private partnership projects in the world practice // Space and Culture, India. 2019. Vol. 7. Issue 2. DOI: 10.20896/saci.v7i2.458

18. Yurieva T.V., Beliakova M.Y. Public-private partnership projects as a tool for the development of social infrastructure // Project Management Development — Practice and Perspectives. 2020. Pp. 7–20. EDN MKQQXG.

19. Erastov A., Novikova O. Practical application of integrated assessment methods as a tool for business analysis in the development of innovative energy saving // 33rd IBIMA Conference. April 10–11, 2019, Granada, Spain, 2019.

Поступила в редакцию 29 ноября 2023 г.

Принята в доработанном виде 5 декабря 2023 г.

Одобрена для публикации 8 декабря 2023 г.

ОБ АВТОРАХ: Юрий Октавьевич Бакрунов — доктор экономических наук, профессор кафедры менеджмента и инноваций; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 267556, ORCID: 0000-0002-8288-7017; bakrunovyo@mgsu.ru;

Валерия Викторовна Глазкова — кандидат экономических наук, доцент кафедры менеджмента и инноваций; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 888163, Scopus: 57194442650, ResearcherID: ABI-2788-2020, ORCID: 0000-0002-5995-8585; leram86@mail.ru.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Stennikov V., Penkovskii A. Problems of Russian heat supply and ways of their solution. *E3S Web of Conferences*. 2020; 02003. DOI: 10.1051/e3sconf/202021902003. EDN SUJIYM.

2. Malkova T.B., Malkov A.V. Problems polyene innovation activities of enterprises heat supply in the re-

gion. *Economy in the Industry*. 2018; 11(2):169-176. DOI: 10.17073/2072-1633-2018-2-169-176

3. Galitsky V.V., Zaytsev V.A., Gasho E.G. Increasing of heat supply reliability as power efficiency tool in the process of thermal network operation. *Safety in Technosphere*. 2012; 1(6):52-56. EDN PUJEEH. (rus.).

4. Verstina N., Evseev E., Tsuverkalova O. Strategic planning of construction and reconstruction of the facilities of the heat supply systems with the use of scenario approach. *E3S Web of Conferences*. 2021; 263:05028. DOI: 10.1051/e3sconf/202126305028. EDN FXCCIQ.

5. Evseev E., Kisel T. Integrated efficiency evaluation of the heat-supplying enterprises activity. *E3S Web of Conferences*. 2020; 164:01024. DOI: 10.1051/e3sconf/202016401024. EDN NUIADE.

6. Telichenko V.I., Gogina Ye.S. Integrated approach to energy-efficient modernization of residential buildings and heat-supply systems. *Urban planning*. 2012; 2(18):72–74. URL: https://stroim.mos.ru/builder_science/kompleksnyi-podhod-k-provedeniu-energoeffektivnoi-modernizacii-zhilyh-zdaniy-i-sistem-teplosnabzheniya. EDN OXGWGX. (rus.).

7. Andreev Yu.V., Grekov M.A., Proskurin V.M., Novikova O.V. Reliability and efficiency of heat supply systems in the Leningrad region. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020; 1683(4):042027. DOI: 10.1088/1742-6596/1683/4/042027

8. Verstina N., Solopova N., Taskaeva N., Meshcheryakova T., Shchepkina N. A new approach to assessing the energy efficiency of industrial facilities. *Buildings*. 2022; 12(2):191. DOI: 10.3390/buildings12020191

9. Štreimikienė D., Strielkowski V., Lisin E., Kurdiukova G. Pathways for sustainable development of urban heat supply systems. *E3S Web of Conferences*. 2020; 208:04001. DOI: 10.1051/e3sconf/202020804001

10. Bezhan A.V. Heat supply efficiency improvement in the Arctic regions with an increased wind potency. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020; 976(1):012006. DOI: 10.1088/1757-899x/976/1/012006

11. Verstina N., Evseev E., Tsuverkalova O., Kulachinskaya A. The technical state of engineering systems as an important factor of heat supply organizations

management in modern conditions. *Energies*. 2022; 15(3):1015. DOI: 10.3390/en15031015

12. Mamatova N.A., Mamatov A.V. *Theories of innovation : textbook*. Belgorod, BelGU Publ., 2017; 100. (rus.).

13. Astratova G.V., Rutkauskas T.K., Rutkauskas K.V., Klimuk V.V. Creating an environmentally safe and reliable heat supply system through the introduction of energy-saving technologies in housing and common utilities services. *E3S Web of Conferences*. 2021; 265:04020. DOI: 10.1051/e3sconf/202126504020

14. Glazkova V.V. Principles of ecological and economic management of innovative development of heat supply. *Finance, Economics, and Industry for Sustainable Development*. 2023; 211–221. DOI: 10.1007/978-3-031-30498-9_19

15. Evseev E., Kisel T. Management in the heat-supplying organizations on the basis of balance models. *MATEC Web of Conferences*. 2018; 170:01112. DOI: 10.1051/matecconf/201817001112

16. Glazkova V.V., Gospodarik C.G. Development of public-private collaboration on the basis of heat supply concessions. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2023; 18(5):798–807. DOI: 10.22227/19970935.2023.5.798-807 (rus.).

17. Kuchkovskaya N.V., Zabaikin Yu.V., Baisaeva M.U., Kosareva I.A., Calesci M. Risk assessment regarding the implementation of public-private partnership projects in the world practice. *Space and Culture, India*. 2019; 7(2). DOI: 10.20896/saci.v7i2.458

18. Yurieva T.V., Beliakova M.Y. Public-private partnership projects as a tool for the development of social infrastructure. *Project Management Development — Practice and Perspectives*. 2020; 7–20. EDN MKQQXG.

19. Erastov A., Novikova O. Practical application of integrated assessment methods as a tool for business analysis in the development of innovative energy saving. *33rd IBIMA Conference*. 10–11 April 2019, Granada, Spain, 2019.

Received November 29, 2023.

Adopted in revised form on December 5, 2023.

Approved for publication on December 8, 2023.

B I O N O T E S : **Yuri O. Bakrunov** — Doctor of Economic Sciences, Professor of the Department of Management and Innovation; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 267556, ORCID: 0000-0002-8288-7017; bakrunovyo@mgsu.ru;

Valeriya V. Glazkova — Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Management and Innovation; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 888163, Scopus: 57194442650, ResearcherID: ABI-2788-2020, ORCID: 0000-0002-5995-8585; leram86@mail.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.

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 2024 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 2024 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/>



