

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

ВЕСТНИК МГСУ

Научно-технический журнал
по строительству и архитектуре

Том 17 Выпуск 8/2022
Vol. Issue

VESTNIK MGSU

Monthly Journal on Construction
and Architecture

DOI: 10.22227/1997-0935.2022.8

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

ВЕСТНИК МГСУ

Научно-технический журнал по строительству и архитектуре

**Том 17. Выпуск 8
2022**

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

Сквозной номер 165

VESTNIK MGSU

Monthly Journal on Construction and Architecture

**Volume 17. Issue 8
2022**

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. 23-93
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	26.08.2022.
Подписан в свет	29.08.2022.

Формат 60×84/8. Усл. печ. л. 15,48. Тираж 100 экз. (1-й завод 50 экз.). Заказ № 238

Главный редактор

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

Заместители главного редактора

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

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 РААСН, 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, проф., д.-инж. (технические науки, строительные материалы), Технический университет Эйндховена, Королевство Нидерландов (Голландия)

Йост Вальравен, проф., д-р-инж. (технические науки, железобетонные конструкции), 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

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

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

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

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

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

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

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

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 техн. наук, проф., и.о. зав. каф. экономики и управления в строительстве, НИУ МГСУ, Москва, Российская Федерация

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

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

Левон Рафаэлович Маилян, академик РААСН, д-р техн. наук, проф., проф. каф. автомобильных дорог, 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, 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

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

Редакция журнала

Выпускающий редактор: *Анна Александровна Дядичева*

Редактор: *Татьяна Владимировна Бердникова*

Перевод на английский язык: *Ольга Валерьевна Юденкова*

Дизайн и верстка: *Алина Германовна Алейникова*

Корректор: *Оксана Валерьевна Ермихина*

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

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

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

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

Александр Витальевич Гинзбург, д-р техн. наук, проф., зав. каф. информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве, НИУ МГСУ, 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. кафедры 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» (НИУ «МЭИ»), 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, акад. Российской академии архитектуры и строительных наук, д-р техн. наук, проф., 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, профессор, чл.-корр. РААСН, зав. каф. геотехники, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», Санкт-Петербург, Российская Федерация

Владимир Львович Мондрус, д-р техн. наук, проф., чл.-корр. РААСН, 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, чл.-корр. Российской академии архитектуры и строительных наук, д-р техн. наук, проф., проф., 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., академик и вице-президент РААСН, 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, профессор, 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:	26.08.2022

Distributed by subscription

© Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "Moscow State University of Civil Engineering (National Research University)", 2022

Editor-in-Chief

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

Deputy Editor-in-Chief

Elena A. Korol, 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

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 Gładyszewska-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

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

Roope 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

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

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

Josef Vichan, University of Zilina, Slovak Republic

Joost Walraven, Delft University of Technology, Netherlands

Zbigniew Wojcicki, Wroclaw University of Technology, Republic of Poland

Editorial team of issues

Executive editor: *Anna A. Dyadicheva* **Corrector:** *Oksana V. Erimihina*

Editor: *Tat'yana V. Berdnikova* **Layout:** *Alina G. Aleynikova*

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, Professor, Leading research scientist, 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

Alexander V. Ginzburg, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), 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

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

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

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

Э. Микерего, Н. Лийонел

**The simultaneous impact of corrosion and the reinforcement ratio on the load-bearing capacity of reinforced concrete under axial compression
(Одновременное влияние коррозии и коэффициента армирования на несущую способность железобетона при осевом сжатии) 999**

А.В. Коргин, В.А. Ермаков, Л.З. Зейд Килани

Обеспечение несущей способности арочных покрытий из холодногнутых тонкостенных профилей 1008

СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

М.Ш. Саламанова, З.Ш. Гацаев, В.В. Сызранцев

Исследование свойств щелочных вяжущих материалов с добавкой тонкодисперсного бентонита. 1017

БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Е.В. Сысоева, М.О. Гельманова

Методы расчета рассеивания загрязняющих веществ в городской атмосфере 1027

Е.А. Король, Р.С. Петросян

Обеспечение безопасных условий труда при обустройстве бытовых городков капитально ремонтируемых зданий 1046

ГИДРАВЛИКА. ГЕОТЕХНИКА. ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

З.Г. Тер-Мартirosян, В.В. Бахмисов

Нестационарная задача влагопереноса в стене в грунте с учетом глинистой корки 1054

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

О.А. Проодоус, Д.И. Шлычков, И.А. Абросимова

Допустимый уровень наполнения в трубах самотечных сетей водоотведения с внутренними отложениями 1064

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

В.В. Глазкова

Теоретические аспекты инновационного развития единых теплоснабжающих организаций в условиях перехода на новый энергетический уклад 1073

И.В. Каракозова, Ю.С. Прохорова

Инновационное развитие системы дополнительного профессионального образования для специалистов строительной отрасли 1085

Е.В. Савоскина, Н.А. Солопова, Е.П. Акри, С.В. Домнина

Анализ инновационных механизмов решения жилищных проблем в Российской Федерации 1096

Требования к оформлению научной статьи 1113

CONTENTS

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

Emmanuel Mikerego, Niyokindi Lionel

**The simultaneous impact of corrosion and the reinforcement ratio
on the load-bearing capacity of reinforced concrete under axial compression. 999**

Andrey V. Korgin, Valentin A. Ermakov, Leys Z. Zeyd Kilani

The bearing capacity of arch cover structures made of thin-walled cold-formed profiles. 1008

CONSTRUCTION MATERIAL ENGINEERING

Madina Sh. Salamanova, Zurab Sh. Gatsaev, Vyacheslav V. Syzrantsev

**Investigation of the properties of alkaline binding materials
with the addition of fine bentonite. 1017**

SAFETY OF CONSTRUCTION AND URBAN ECONOMY

Elena V. Sysoeva, Margarita O. Gelmanova

Methods for calculating the pollutants dispersion in the urban atmosphere. 1027

Elena A. Korol, Rima S. Petrosyan

**Ensuring safe working conditions in the arrangement
of household towns of overhauled buildings 1046**

HYDRAULICS. GEOTECHNIQUE. HYDROTECHNICAL CONSTRUCTION

Zaven G. Ter-Martirosyan, Viktor V. Bakhmisov

**A non-stationary problem of moisture transport in a diaphragm
wall with account taken of filter cake 1054**

ENGINEERING SYSTEMS IN CONSTRUCTION

Oleg A. Prodous, Dmitriy I. Shlychkov, Ivanna A. Abrosimova

Permissible filling level in pipes of gravity water networks with internal deposits 1064

TECHNOLOGY AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION. ECONOMICS AND MANAGEMENT IN CONSTRUCTION

Valeria V. Glazkova

**Theoretical aspects of innovative development of unified heat supply organizations
in the conditions of transition to a new energy system. 1073**

Irina V. Karakozova, Yulia S. Prokhorova

**Innovative development of the system of additional professional education
for specialists of the construction industry 1085**

Elena V. Savoskina, Natalia A. Solopova, Ekaterina P. Akri, Svetlana V. Domnina

Analysis of innovative mechanisms for solving housing problems in the Russian Federation 1096

Requirements for research paper design 1113

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);
- 2.1.7. 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);
- 05.02.22. Организация производства (по отраслям) (технические науки);
- 05.23.07. Гидротехническое строительство (технические науки);
- 05.23.16. Гидравлика и инженерная гидрология (технические науки);
- 08.00.05. Экономика и управление народным хозяйством (по отраслям и сферам деятельности) (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:
«Научно-методические основы градостроительного зонирования территории города при воздействии острова тепла и ингредиентного загрязнения атмосферы».

Конкурсный отбор состоится на заседании Научно-технического совета НИУ МГСУ
20.09.2022 г. в 14.00.

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

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

RESEARCH PAPER / НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 624.012.45

DOI: 10.22227/1997-0935.2022.8.999-1007

The simultaneous impact of corrosion and the reinforcement ratio on the load-bearing capacity of reinforced concrete under axial compression

Emmanuel Mikerego¹, Niyokindi Lionel²

¹University of Burundi; Bujumbura, Burundi;

²Land Titles and National Cadastre Services in Burundi; Bujumbura, Burundi

ABSTRACT

Introduction. This study presents the results of an experimental assessment of the simultaneous impact of corrosion and the reinforcement ratio on the load-bearing capacity of standard reinforced concrete elements subjected to axial compression.

Materials and methods. This study was conducted using 216 experimental specimens made of ordinary concrete longitudinally reinforced by high bond reinforcing steel FeE400. The cross-sectional dimension of our experimental reinforced concrete specimens was 20 × 20 cm, and their height was 32 cm. Six cases of bond strength degradation were considered in percent: 0, 20, 40, 60, 80 and 100 %. Experimental specimens had four diameters (Ø). Reinforcing steel rods had the following diameters: Ø10, Ø12, Ø14 and Ø16. For each bond degradation strength value, nine specimens were made using 4Ø10, 4Ø12, 4Ø14 and 4Ø16 rods. The longitudinal steel reinforcement had the reinforcement ratio of 0.80, 1.13, 1.54 and 2.01 %. Bond strength degradation was simulated by applying adhesive tape to the contour surface of the steel rods to prevent the adhesion between the reinforcement and the concrete, in compliance with the required extent of bond strength degradation. The experimental reinforced concrete specimens were subjected to axial compression 28 days later. The collapsing forces, thus obtained, were transformed in compressive strength for the purpose of analysis and interpretation of the results.

Results. For one and the same reinforcement ratio, the loss of the load-bearing capacity of reinforced concrete increases, as bond strength degradation goes up. For the same bond strength degradation, the loss of the load-bearing capacity of reinforced concrete also increases, if the reinforcement ratio goes up. Bond strength degradation from 0 to 100 % leads to the load-bearing capacity loss to 11.62, 16.52, 21.32, 26.26 % respectively for the reinforcement ratio μ of 0.80, 1.13, 1.54 and 2.01 %. The curves, demonstrating the load-bearing capacity loss by the reinforced concrete subjected to axial compression, are presented as functions that depend on bond strength degradation and the reinforcement ratio.

Conclusions. Bond strength degradation from 0 to 100 % leads to the load-bearing capacity in the range of 11.62 to 26.26 % for the reinforcement ratios between 0.80 and 2.01 %, respectively. The load-bearing capacity loss by reinforced concrete elements subjected to axial compression is presented as the function depending simultaneously on bond strength degradation and the reinforcement ratio. Evidently, excessive reinforcement will negatively affect the durability of the reinforced concrete element under axial compression. Over-reinforced concrete elements under axial compression will be less durable compared to normally reinforced ones.

KEYWORDS: corrosion of reinforcing steel, reinforcement ratio, degradation of bond strength, reinforced concrete element, axial compression, load-bearing capacity loss, durability of reinforced concrete

FOR CITATION: Mikerego E., Lionel N. The simultaneous impact of corrosion and the reinforcement ratio on the load-bearing capacity of reinforced concrete under axial compression. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2022; 17(8):999-1007. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.8.999-1007

Corresponding author: Emmanuel Mikerego, mikeregoemmanuel@hotmail.com.

Одновременное влияние коррозии и коэффициента армирования на несущую способность железобетона при осевом сжатии

Эммануэль Микерего¹, Нийокинди Лийонел²

¹ Университет Бурунди; г. Бужумбура, Бурунди;

² Земельные титулы и национальные кадастровые услуги Бурунди; г. Бужумбура, Бурунди

АННОТАЦИЯ

Введение. Представлены результаты экспериментальной оценки одновременного влияния коррозии и коэффициента армирования на несущую способность железобетонных элементов при осевом сжатии.

Материалы и методы. Исследование проводилось на 216 экспериментальных образцах, изготовленных из обычного бетона, армированного в продольном направлении арматурными стальными стержнями с высокой связью FeE400. Размеры железобетонных экспериментальных образцов составляли 20 × 20 см в поперечном сечении и 32 см по высоте. Рассмотрено шесть случаев деградации прочности сцепления арматуры с бетоном: 0, 20, 40, 60, 80 и 100 %. В экспериментальных образцах использовались четыре вида диаметра: Ø10, Ø12, Ø14 и Ø16. Для каждой рассматриваемой деградации сцепления арматуры с бетоном изготовлено девять образцов соответственно с 4Ø10, 4Ø12, 4Ø14 и 4Ø16. Используемые количества продольной арматуры соответствовали значениям коэффициента армирования 0,80, 1,13, 1,54 и 2,01 %. Экспериментальные железобетонные образцы были подвергнуты осевому сжатию через 28 дней.

Результаты. При одном и том же коэффициенте армирования потеря несущей способности железобетона увеличивается, с одной стороны, по мере снижения прочности сцепления. С другой стороны, при одинаковом снижении прочности сцепления потеря несущей способности железобетона также увеличивается при увеличении коэффициента армирования. Деградация прочности сцепления арматуры с бетоном в пределах от 0 до 100 % приводит к потере несущей способности железобетона до 11,62, 16,52, 21,32, 26,26 % соответственно при коэффициенте армирования μ , равном 0,80, 1,13, 1,54 и 2,01 %.

Выводы. Потеря несущей способности железобетона зависит одновременно от снижения прочности сцепления арматуры с бетоном и процента армирования. По полученным результатам установлены функции, описывающие зависимости между потерями несущей способности железобетона на осевом сжатии и снижением прочности сцепления и коэффициентом армирования. Установлено, что перearмированные железобетонные элементы при осевом сжатии будут менее долговечными по сравнению с нормально армированными.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: коррозия арматур, коэффициент армирования, деградация прочности сцепления, железобетонный элемент, осевое сжатие, потеря несущей способности, долговечность железобетона

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Mikerego E., Lionel N. The simultaneous impact of corrosion and the reinforcement ratio on the load-bearing capacity of reinforced concrete under axial compression // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 8. С. 999–1007. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.8.999-1007

Автор, ответственный за переписку: Эммануэль Микерего, mikeregoemmanuel@hotmail.com.

INTRODUCTION

The problem of the degradation of the reinforced concrete leads the building standards to set the normative service life of standard reinforced concrete structures to 50 years¹. That problem have been found to be closely linked to the durability of reinforced concrete [1–4]. It is an ongoing research problem because the decrease in durability has an impact on the structural behaviour of reinforced concrete structures [1–9]. Several factors are mentioned in the literatures as the causes of the degradation of the reinforced concrete. However the corrosion between the reinforcing steels and the concrete is cited as the main cause of that degradation [10–13].

Various laboratory and field tests and modelling methods are used to analyse and predict the durability of reinforced concrete [14–20]. Nevertheless, even though

all these works have been carried out, there is a lack of studies that evaluate the simultaneous impact of the action of corrosion and the reinforcement ratio on the load-bearing capacity of the reinforced concrete structures. Thus this study represent a contribution in the understanding of the durability of the reinforced concrete structures.

MATERIALS AND METHODS

This study was specially originated from the observations of the degradation of the load-bearing elements of the reinforced concrete building structures in Burundi, dating back more than 60 years, such as the Kiriri Campus of the University of Burundi (Fig. 1). And there the idea: Do bond strength degradation and the reinforcement ratio contribute in the load-bearing capacity loss of the bearing elements of the reinforced concrete structures?

Then, for this study, the reinforced concrete elements under axial compression were taken into account. And the following specifics objectives were considered:

¹ EN 1992-1-1. Design of concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings. 2004.



Fig. 1. Case of bond strength degradation at the base of the bearing columns of the building of the Institute of Physical Education and Sports at University of Burundi

- evaluation of the impact of the bond strength degradation on the bearing capacity of the ordinary reinforced concrete under axial compression;
- evaluation of the impact of the reinforcement ratio on the load-bearing capacity of a reinforced concrete element under axial compression;
- evaluation the impact of simultaneous action of bond strength degradation and the reinforcement ratio on the durability of reinforced concrete structures.

For to achieve the fixed objectives, the simulations of bond strength degradation designated by Δ in % between the reinforcing steels and the concrete in the reinforced concrete specimen subjected to axial compression test were made. In this study, 216 reinforced concrete experimental specimen were made with the ordinary concrete longitudinally reinforced by high bond reinforcing steels FeE400 tested (Table 1).

Due to the lack of equipment to conduct full-scale height column tests in the material laboratory of University of Burundi, the height (32 cm) of the experimental samples was chosen to correspond to one tenth of the height of the columns generally used in standard buildings. The cross-section of the reinforced concrete experimental specimen were defined by the dimensions of the moulds made from the wooden boards (Fig. 2).

The constituents of the used concrete (Table 2) were chosen taking into account the criteria of the grain size, the water content and the compactness of the standard concrete.

Each experimental specimen contained 4 longitudinal steels horizontally fixed along the height by three (3) transversal high bond steels (FeE400). The used quantities of longitudinal reinforcing steels in the experimental

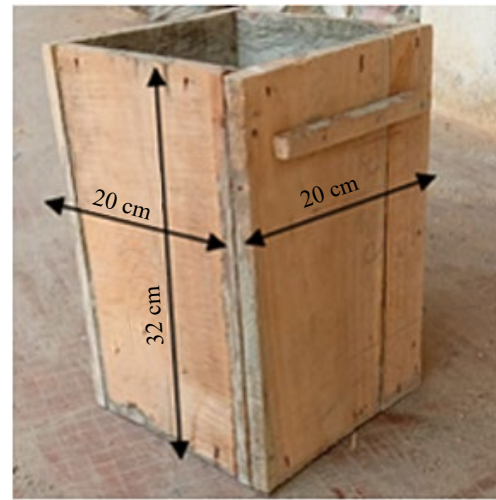


Fig. 2. Moulds made of wooden boards defining the dimensions of the used reinforced concrete experimental specimen

specimen were corresponding to the reinforcement ratio values of 0.80, 1.13, 1.54 and 2.01 %, calculated with:

$$\mu, \% = (A_s/B) \cdot 100,$$

with A_s — the cross-sectional area of the longitudinal reinforcing steels present in each reinforced concrete specimen; B — the gross cross-section area of the concrete of the reinforced concrete specimen.

The simulation of bond strength degradation Δ representing the corrosion between the reinforcing steels and the concrete was carried out by applying an adhesive tape (with thickness of 0.15 mm) on the contour surface, for each one of the four reinforcing longitudinal steels in an experimental sample (Fig. 3).

Table 1. Quantity of experimental specimen used in simulating bond strength degradation in the reinforced concrete elements with different used diameters

Used steels	Simulated bond strength degradation Δ					
	$\Delta = 0 \%$	$\Delta = 20 \%$	$\Delta = 40 \%$	$\Delta = 60 \%$	$\Delta = 80 \%$	$\Delta = 100 \%$
4Ø10	9 specimens	9 specimens	9 specimens	9 specimens	9 specimens	9 specimens
4Ø12	9 specimens	9 specimens	9 specimens	9 specimens	9 specimens	9 specimens
4Ø14	9 specimens	9 specimens	9 specimens	9 specimens	9 specimens	9 specimens
4Ø16	9 specimens	9 specimens	9 specimens	9 specimens	9 specimens	9 specimens

Table 2. Constituents of the concrete used in the preparation of the experimental reinforced concrete samples to be subjected to axial compression

Materials	Concrete constituent materials per cubic meter	Concrete constituent materials for one specimen
Sand	556 kg/m ³	8 kg
Gravel	1.377 kg/m ³	18 kg
Cement (CEM I – 32.5)	336 kg/m ³	5 kg
Water	189 l/m ³	3 l

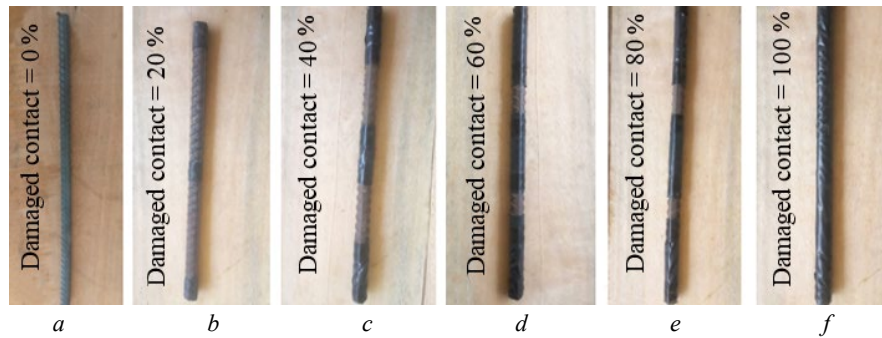


Fig. 3. The used approach for simulating bond strength degradation with an adhesive tape

The experimental reinforced concrete samples were prepared and made in the material laboratory of the University of Burundi (Fig. 4, a). And after 28 days of the curing, the made experimental samples were subjected to axial compression (Fig. 4, b).

The obtained breaking forces for the experimental specimen under axial compression were transformed into compressive strengths for analyses and

interpretation. After the exclusion the outside values, the means values (\bar{x}) were statistically calculated by:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i / n.$$

In this study, the following parameters were used in the analysis of the obtained and treated results:

- μ — reinforcement ratio, %;
- Δ — bond strength degradation, %;
- δ — load-bearing capacity loss.

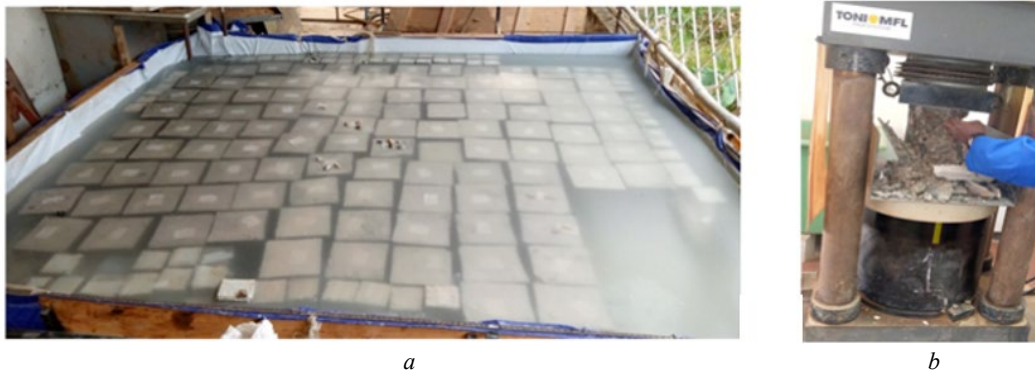


Fig. 4. Experimental reinforced concrete specimen under wet curing (a) and compression tests (b) of experimental reinforced concrete specimen after 28 days

RESULTS OF THE RESEARCH

In this study, the results were recorded and saved in tables (Table 3–7). The analysis and interpretation of the results are based on the diagrams presented in figures (Fig. 5–8).

The statistically obtained means breaking forces (\bar{x}) for the reinforced concrete experimental specimen tested under axial compression are also given as an histogram as presented in figure (Fig. 5).

Table 3. Breaking forces obtained under axial compression for the reinforced concrete experimental specimen with (4Ø10)

Bond strength degradation Δ , %	Breaking forces for experimental specimens under axial compression, kN								
	Experimental series								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1,358.65	1,356.05	1,362.55	1,360.65	1,360.15	1,359.15	1,362.15	1,357.65	1,364.25
20	1,266.03	1,271.73	1,264.33	1,267.73	1,267.33	1,268.33	1,269.53	1,269.83	1,263.33
40	1,244.62	1,245.02	1,240.12	1,243.52	1,243.02	1,243.52	1,241.52	1,242.02	1,245.02
60	1,233.17	1,233.77	1,229.37	1,232.57	1,231.97	1,232.47	1,230.47	1,230.97	1,233.67
80	1,215.00	1,221.00	1,219.50	1,216.70	1,216.50	1,215.50	1,218.50	1,219.00	1,212.10
100	1,199.33	1,205.83	1,204.43	1,201.33	1,201.03	1,200.03	1,203.43	1,203.93	1,197.13

Table 4. Breaking forces obtained under axial compression for the reinforced concrete experimental specimen with (4Ø12)

Bond strength degradation Δ , %	Breaking forces for experimental specimens under axial compression, kN								
	Experimental series								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1,427.16	1,424.56	1,431.06	1,429.16	1,428.66	1,427.66	1,430.66	1,426.16	1,432.76
20	1,321.28	1,326.98	1,319.58	1,322.98	1,322.58	1,323.58	1,324.78	1,325.08	1,318.58
40	1,286.61	1,287.01	1,282.11	1,285.51	1,285.01	1,285.51	1,283.51	1,284.01	1,287.01
60	1,261.90	1,262.50	1,258.10	1,261.30	1,260.70	1,261.20	1,259.20	1,259.70	1,262.40
80	1,228.26	1,234.26	1,232.76	1,229.96	1,229.76	1,228.76	1,231.76	1,232.26	1,225.36
100	1,190.49	1,196.99	1,195.59	1,192.49	1,192.19	1,191.19	1,194.59	1,195.09	1,188.29

Table 5. Breaking forces obtained under axial compression for the reinforced concrete experimental specimen with (4Ø14)

Bond strength degradation Δ , %	Breaking forces for experimental specimen under axial compression, kN								
	Experimental series								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1,508.93	1,506.33	1,512.83	1,510.93	1,510.43	1,509.43	1,512.43	1,507.93	1,514.53
20	1,385.37	1,391.07	1,383.67	1,387.07	1,386.67	1,387.67	1,388.87	1,389.17	1,382.67
40	1,339.65	1,340.05	1,335.15	1,338.55	1,338.05	1,338.55	1,336.55	1,337.05	1,340.05
60	1,297.26	1,297.86	1,293.46	1,296.66	1,296.06	1,296.56	1,294.56	1,295.06	1,297.76
80	1,243.73	1,249.73	1,248.23	1,245.43	1,245.23	1,244.23	1,247.23	1,247.73	1,240.83
100	1,186.07	1,192.57	1,191.17	1,188.07	1,187.77	1,186.77	1,190.17	1,190.67	1,183.87

Table 6. Breaking forces obtained under axial compression for the reinforced concrete experimental specimen with (4Ø16)

Bond strength degradation Δ , %	Breaking forces for experimental specimen under axial compression, kN								
	Experimental series								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1,603.96	1,601.36	1,607.86	1,605.96	1,605.46	1,604.46	1,607.46	1,602.96	1,609.56
20	1,464.93	1,470.63	1,463.23	1,466.63	1,466.23	1,467.23	1,468.43	1,468.73	1,462.23
40	1,397.11	1,397.51	1,392.61	1,396.01	1,395.51	1,396.01	1,394.01	1,394.51	1,397.51
60	1,334.83	1,335.43	1,331.03	1,334.23	1,333.63	1,334.13	1,332.13	1,332.63	1,335.33
80	1,263.62	1,269.62	1,268.12	1,265.32	1,265.12	1,264.12	1,267.12	1,267.62	1,260.72
100	1,181.65	1,188.15	1,186.75	1,183.65	1,183.35	1,182.35	1,185.75	1,186.25	1,179.45

Dividing the mean breaking forces by the cross-section of the reinforced concrete experimental specimen gives the load-bearing capacity as compressive strength (Table 7).

Bond strength degradation Δ situated between 0 and 100 % leads to the load-bearing capacity losses δ up to 11.62, 16.52, 21.32 and 26.26 % for the reinforcement ratios μ of 0.80, 1.13, 1.54 and 2.01 respectively (Fig. 6).

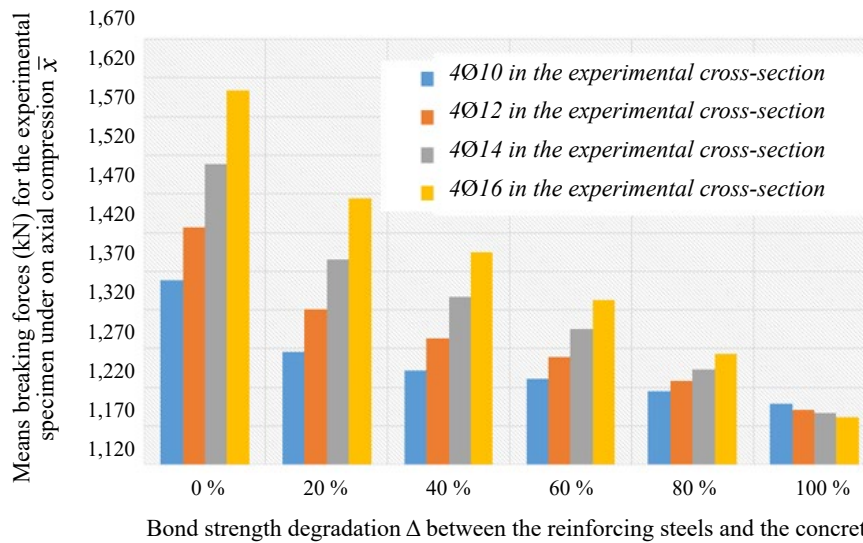


Fig. 5. Means breaking forces values for the reinforced concrete experimental specimen subjected on axial compression

Table 7. Compressive strength in MPa and load-bearing capacity losses δ of the reinforced concrete specimen subjected to axial compression in the cases of different bond strength degradation Δ and reinforcement ratio μ considered

Steel sections A_s and concrete section B and reinforcement ratios μ				Bond strength degradation Δ between the reinforcing steels and the concrete						Load-bearing capacity loss δ , %
Steel	A_s , mm ²	B , mm ²	μ , %	0 %	20 %	40 %	60 %	80 %	100 %	
Compressive strength, MPa										
4Ø10	314	40,000	0.8	34.00	31.69	31.08	30.80	30.34	30.05	11.62
4Ø12	452	40,000	1.13	35.72	33.07	32.13	31.52	30.76	29.82	16.52
4Ø14	616	40,000	1.54	37.76	34.67	33.45	32.40	31.15	29.71	21.32
4Ø16	804	40,000	2.01	40.14	36.66	34.89	33.34	31.64	29.60	26.26

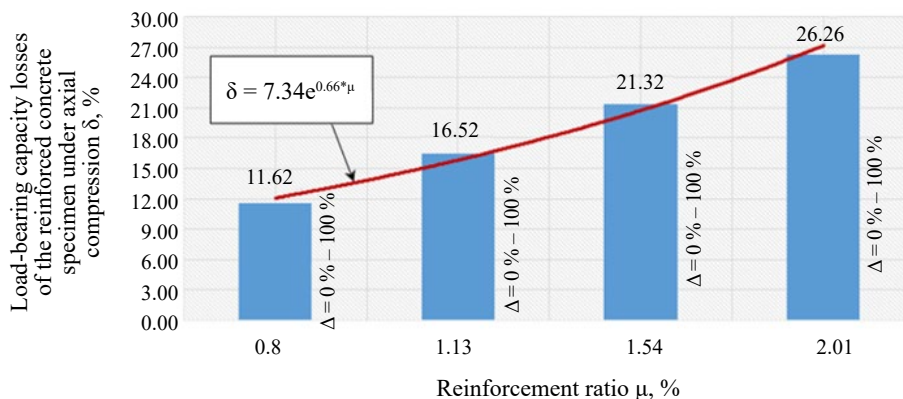


Fig. 6. Load-bearing capacity losses δ as a function depending on the reinforcement ratio μ for the reinforced concrete specimens under axial compression for bond strength degradation Δ taken between 0 and 100 %

For the same reinforcement ratio μ , the load-bearing capacity losses δ are expressed as functions depending on bond strength degradations Δ between

the reinforcing steels and the concrete. The load-bearing capacity losses of the reinforced concrete increases, as bond strength degradation Δ goes up (Fig. 7).

For the same bond strength degradation Δ between the reinforcing steels and the concrete, the load-bearing capacity losses δ are also expressed as a function de-

pending on the reinforcement ratio μ . The load-bearing capacity losses increase as the reinforcement ratio μ increases (Fig. 8).

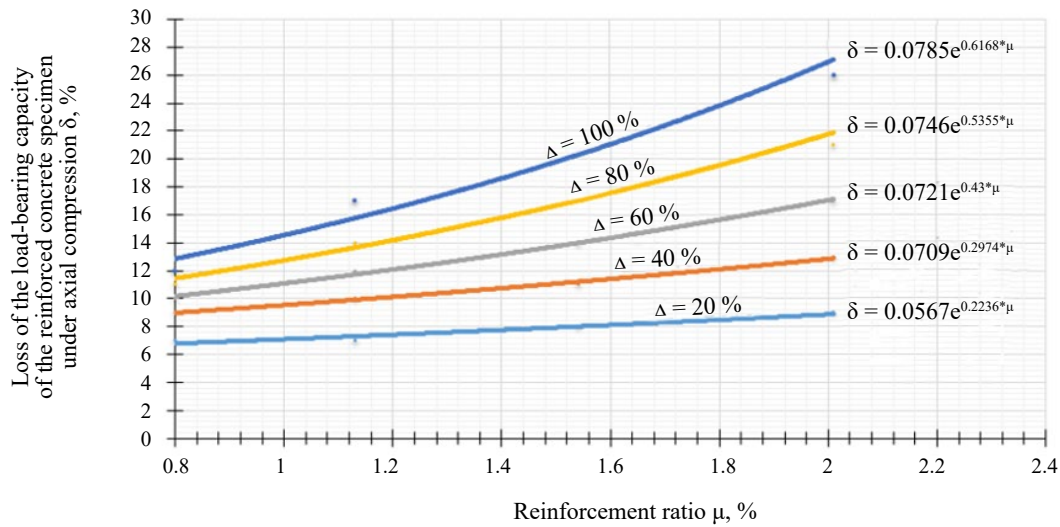


Fig. 7. Load-bearing capacity losses as functions depending on bond strength degradation Δ and the reinforcement ratios μ of the reinforced concrete element subjected to axial compression

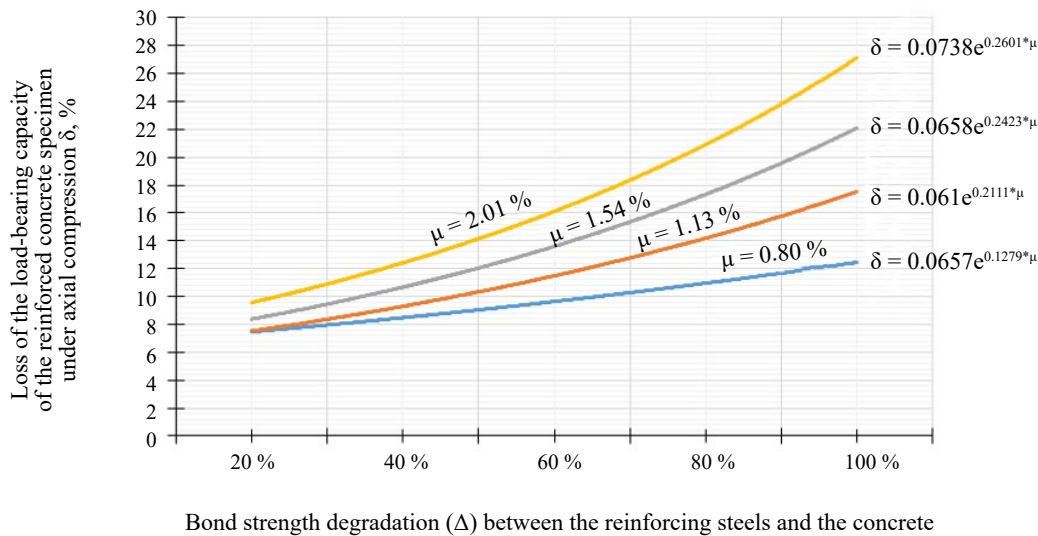


Fig. 8. The load-bearing capacity losses of reinforced concrete as a function depending on bond strength degradation Δ and the reinforcement ratio μ in the reinforced concrete element subjected to axial compression

CONCLUSION AND DISCUSSION

Bond strength degradation from 0 to 100 % leads to the load-bearing capacity in the range of 11.62 to 26.26 %, for the reinforcement ratios between 0.80 and 2.01 % respectively. Load-bearing capacity loss of a reinforced concrete element under axial compression is established by curves as function depending simultane-

ously on bond strength degradation and the reinforcement ratio. It is shown that the over-reinforcement negatively affect the durability of the reinforced concrete element under axial compression. The over-reinforced concrete element under axial compression will be less durable, comparing to the normally reinforced.

REFERENCES / СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Saura-Gómez P., Rizo-Maestre C., Echarri-Iribarren V. The useful life of reinforced concrete structures with reinforcement corrosion due to carbonation in non-aggressive and normal exposures in the Spanish Mediterranean. *Materials*. 2022; 15(3):745. DOI: 10.3390/ma15030745
2. Chemrouka M. The deteriorations of reinforced concrete and the option of high performances reinforced concrete. *Procedia Engineering*. 2015; 125:713-724. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.11.112
3. Alexander M.G. Service life design and modeling of concrete structures — background, developments, and implementation. *Revista ALCONPAT*. 2018; 8(3):224-245. DOI: 10.21041/ra.v8i3.325
4. Felix E.F., Balabuch T.J.R., Posterli M.C., Posan E., Carrazedo R. Análise da vida útil de estruturas de concreto armado sob corrosão uniforme por meio de um modelo com RNA acoplado ao MEF. *Revista ALCONPAT*. 2018; 8(1):1-15. DOI: 10.21041/ra.v8i1.256
5. Zandi K. *Structural Behaviour of Deteriorated Concrete Structures*. Gothenburg, Sweden, 2010.
6. Gajdošová K., Sonnenschein R., Blaho S., Kinčeková S., Pecka J. Durability of FRP reinforcements and long-term properties. *Slovak Journal of Civil Engineering*. 2020; 28(2):50-55. DOI: 10.2478/sjce-2020-0015
7. Berlinov M., Berlinova M., Grigorjan A. Operational durability of reinforced concrete structures. *E3S Web of Conferences*. 2019; 91:02012. DOI: 10.1051/e3sconf/20199102012
8. Karavokyros L., Batis G., Katsiotis N., Tzannis E., Beazi-Katsioti M. Durability of reinforced concrete beams under simultaneous flexural load in corrosive environment. *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*. 2020; 08(04):32-45. DOI: 10.4236/msce.2020.84003
9. Troconis de Rincon O. Durability of concrete structures: DURACON, an iberoamerican project. Preliminary results. *Building and Environment*. 2006; 41(7):952-962. DOI: 10.1016/j.buildenv.2005.04.005
10. Kamaitis Z. Damage to concrete bridges due to reinforcement corrosion. *Transport*. 2002; 17(4):137-142. DOI: 10.3846/16483840.2002.10414030
11. Dacuan C.N., Abellana V.Y. Bond deterioration of corroded-damaged reinforced concrete structures exposed to severe aggressive marine environment. *International Journal of Corrosion*. 2021; 2021:1-13. DOI: 10.1155/2021/8847716
12. Berkowskia P., Kosior-Kazberukb M. Material and structural destruction of concrete elements in the industrial environment. *Procedia Engineering*. 2017; 172:96-103. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.02.024
13. Haouara S., Guettala A. Les facteurs d'influence sur la dégradation des ouvrages en béton armé dans la région de Biskra. *Courrier du Savoir*. 2005; 109-116.
14. Czarnescki L., Woyciechowski P. Prediction of the reinforced concrete structure durability under the risk of carbonation and chloride aggression. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences*. 2013; 61(1):173-181. DOI: 10.2478/bpasts-2013-0016
15. Llorens M., Serrano A., Valcuende M. Sensors for determining the durability of reinforced concrete constructions. *Revista ingeniería de construcción*. 2019; 34(1). DOI: 10.4067/S0718-50732019000100081
16. Hulimka J., Kałuza M. Basic chemical tests of concrete during the assessment of structure suitability — discussion on selected industrial structures. *Applied Sciences*. 2020; 10(1):358. DOI: 10.3390/app10010358
17. Loukil O. *Etude expérimentale et numérique de la dégradation d'éléments structurels en béton armé par corrosion sous courant imposé*. Génie civil. Université Paris-Est, 2017.
18. Nanukuttan S., Yang K., McCarter J., Basheer M. *Methods of assessing the durability and service life of concrete structures*. Institute of Concrete Technology Yearbook, 2017.
19. Robuschi S., Tengattini A., Dijkstra J., Fernandez I., Lundgren K. A closer look at corrosion of steel reinforcement bars in concrete using 3D neutron and X-ray computed tomography. *Cement and Concrete Research*. 2021; 144:106439. DOI: 10.1016/j.cemconres.2021.106439
20. Grimaldi G., Raharinaivo A. Vers une stratégie de réparation du béton armé dégradé. *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées*. 1999; 223:59-70.

Received March 24, 2022.

Adopted in revised form on July 28, 2022.

Approved for publication on July 28, 2022.

BIONOTES: **Emmanuel Mikerego** — Doctor (Ph.D.) in Engineering, Lecturer of the Faculty of Engineering Sciences; **University of Burundi**; B.P 2700, Bujumbura, Burundi; ORCID: 0000-0002-5743-6476; mikeregoemmanuel@hotmail.com;

Niyokindi Lionel — Master; **Land Titles and National Cadastre Services in Burundi**; Bujumbura, Burundi; niyokindilionel@gmail.com.

Contribution of the authors:

Emmanuel Mikerego — conceptualization, methodology, data processing, writing of the article, scientific editing of the text.

Niyokindi Lionel — methodology, data gathering and processing.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию 24 марта 2022 г.

Принята в доработанном виде 28 июля 2022 г.

Одобрена для публикации 28 июля 2022 г.

ОБ АВТОРАХ: **Эммануэль Микерего** — доктор технических наук, преподаватель факультета инженерных наук; **Университет Бурунди**; В.Р 2700, г. Бужумбура, Бурунди; ORCID: 0000-0002-5743-6476; mikeregоеmmanuel@hotmail.com;

Нийокинди Лийонел — магистр; **Земельные титулы и национальные кадастровые услуги Бурунди**; г. Бужумбура, Бурунди; niyokindilionel@gmail.com.

Вклад авторов:

Микерего Э. — концептуализация, методология, обработка данных, написание статьи, научное редактирование текста.

Лийонел Н. — методология, сбор и обработка данных.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Обеспечение несущей способности арочных покрытий из холодногнутых тонкостенных профилей

Андрей Валентинович Коргин, Валентин Алексеевич Ермаков,
Лейс Зейдович Зейд Килани

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Рассматривается напряженно-деформированное состояние арочных покрытий из холодногнутых тонкостенных профилей без усиления и с усилением арочным каркасом из треугольных ферм с прогонами. Актуальность исследования подтверждается необходимостью усиления арочных покрытий в случае несоответствия района проектирования и фактической эксплуатации, о чем свидетельствуют обрушения конструкций данного типа в последнее время. С целью снижения трудозатрат по моделированию предлагается использовать методику пространственного моделирования ангара с усилением ортотропными пластинами и стержнями.

Материалы и методы. Для верификации методики проведен расчет условной арки в плоской постановке с помощью параметров редуцированного сечения и расчет той же арки с применением комбинированного сечения из пластин и стержней в пространственной постановке. Плоская арка и пространственные модели нагружены снеговой нагрузкой, за основу расчета принят нормативный документ СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия». Параметры редуцированных прямых участков и напряжения в плоской арке рассчитаны исходя из полученных внутренних усилий и СП 260.1325800.2016 «Конструкции стальные тонкостенные из холодногнутого оцинкованного профиля и гофрированных листов». Снижение жесткости рифленых участков учтено с помощью оценки жесткости при действии единичной силы. Конечно-элементное моделирование осуществлялось в ПК SCAD с автоматическим вычислением напряжений и перемещений.

Результаты. Метод пространственного расчета с использованием ортотропных пластин и стержней показал удовлетворительную сходимости с расчетом в плоской постановке. Максимальные напряжения в пространственной модели на 2 % ниже, чем в плоской арке, а максимальные перемещения ниже до 21 %, что связано с более достоверным МКЭ-анализом пространственной работы всего ангара.

Выводы. Предлагаемая методика моделирования позволяет снизить трудозатраты по моделированию конструкций и подходит для оценки совместной работы основных конструкций и конструкций усиления любого типа.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ЛСТК, ангар, холодногнутый профиль, усиление, арка, арочная конструкция

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Коргин А.В., Ермаков В.А., Зейд Килани Л.З. Обеспечение несущей способности арочных покрытий из холодногнутого тонкостенного профиля // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 8. С. 1008–1016. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.8.1008-1016

Автор, ответственный за переписку: Валентин Алексеевич Ермаков, Ermakov@mgsu.ru.

The bearing capacity of arch cover structures made of thin-walled cold-formed profiles

Andrey V. Korgin, Valentin A. Ermakov, Leys Z. Zeyd Kilani

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

ABSTRACT

Introduction. The article is focused on evaluating the stress-strain state of nonreinforced arch cover structures made of thin-walled cold-formed profiles and arch cover structures reinforced by arch frames made of triangular trusses and girders. The relevance of the study is backed by the need to reinforce arch covers in the event that the design area of operation of a structure is different from the actual area of operation, which is confirmed by the recent cases of collapse of these structures. To reduce the labour input into simulation, the authors suggest a 3D modelling methodology presented using the case of a hangar reinforced by orthotropic plates and rods.

Materials and methods. A 2D analysis of an arch was performed using the parameters of the reduced cross-section and a 3D analysis of the same arch was performed using a combined cross-section of plates and rods to verify the methodology. The 2D arch and 3D models were subjected to snow loading in compliance with the regulatory document document SP 20.13330.2016 "Loads and impacts". Parameters of reduced straight sections and stresses, arising in the 2D arch, were analyzed on the basis of identified internal forces and the regulatory document SP 260.1325800.2016 "Thin-walled

steel structures made of cold-formed galvanized profiles and corrugated sheets". A reduction in the rigidity of corrugated sections is taken into account by assessing the rigidity subjected to the effect of a single force. Finite element modeling was conducted in SCAD Office software; stresses and displacements were calculated automatically.

Results. The 3D calculation method involving orthotropic plates and rods showed satisfactory convergence with the calculation made in the two-dimensional formulation. Maximum stresses arising in a 3D model are 2 % lower than in a 2D arch, and maximum displacements are 21 % lower thanks to a more accurate FEM analysis of the 3D behaviour of the whole hangar.

Conclusions. The proposed modeling technique reduces the labor intensity of structural modeling and is suitable for evaluating the joint behaviour of basic and reinforced structures of any type.

KEYWORDS: lightweight steel thin-walled structures, hangar, cold-formed profile, reinforcement, arch, arch structure

FOR CITATION: Korgin A.V., Ermakov V.A., Zeyd Kilani L.Z. The bearing capacity of arch cover structures made of thin-walled cold-formed profiles. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2022; 17(8):1008-1016. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.8.1008-1016 (rus.).

Corresponding author: Valentin A. Ermakov, Ermakov@mgsu.ru.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время в РФ значительное распространение получили ангары с самонесущими арочными покрытиями цилиндрического типа из холодногнутых тонкостенных профилей, используемые в качестве строений разнообразного назначения (складские и производственные помещения, спортивные и зрелищные сооружения).

Причинами популярности сооружений такого типа являются технологичность производства профилей, относительная простота и небольшие сроки монтажа и, как результат, низкая стоимость строительства [1].

Производство профилей из рулонной стали необходимого радиуса осуществляется непосредственно на строительной площадке с помощью сталеги-

бочных станков, последующий монтаж покрытия из профилей выполняется благодаря применению фальцегибочной машинки, проводящей завальцовку стыков профилей. На торцах сооружения монтируются стенки также из гофрированного профиля (рис. 1).

Основным видом нагрузки на арочное покрытие данного типа в большинстве районов РФ служит снеговая нагрузка, поэтому географический район допустимой безаварийной эксплуатации определяется выбором геометрических размеров сооружения (радиус покрытия и высота в зените), а также маркой и толщиной проката рулонной стали, используемой для изготовления профилей [2].

Анализ опыта эксплуатации арочных покрытий из холодногнутых профилей показывает заметное количество случаев обрушения^{1, 2} [3], главная причина которых — недостаточная несущая способность сооружения под действием снеговой нагрузки (рис. 2). Также причинами обрушения являются несоблюдение проектных параметров сооружения (снижение толщины проката и марки используемой стали), нарушение и дефекты технологии изготовления и монтажа.

Таким образом, актуальной становится задача усиления ангаров с арочными покрытиями из холодногнутых тонкостенных профилей, имеющих параметры, не соответствующие району эксплуатации.

Этот тип конструкций может быть усилен различными методами, такими как: установка затяжек, локальное усиление наружными бандажами из арочных профилей, локальное усиление внутренним профилем, аналогичным основному, устройство двухслойного арочного покрытия и усиление арочным каркасом с прогонами [4–8].

С учетом параметров исходной конструкции и параметров усиления (шаг затяжек, бандажей,



Рис. 1. Общий вид ангара с арочным покрытием

Fig. 1. View of an arch hangar



Рис. 2. Обрушение арочного покрытия складского ангара

Fig. 2. Collapse of an arch hangar used as a warehouse

¹Бескаркасные ангары. Аварии и обрушения. URL: <https://xn--24-6kca03dxa.xn--p1ai/info/798-Beskarkasnye-angary-avarii-i-obrusheniya>

²Строй как хочешь: крытый каток обрушился через месяц. URL: <https://info.sibnet.ru/article/413311/>

профилей, ферм, марка стали и др.) достигается требуемое увеличение несущей способности. При этом проект усиления требует пересчета напряженно-деформированного состояния (НДС) конструкций с учетом совместной работы основных конструкций и конструкций усиления.

Проектирование самонесущих арочных покрытий из гнутых профилей частично регламентируется сводом правил³, так как документ полностью учитывает работу только прямых (нерифленых) участков профиля. Работоспособность рифленых участков производится с учетом снижения их жесткости за счет рифления с помощью коэффициентов редуцирования сечения в соответствии с документом⁴.

Далее расчету подвергается плоская арка, состоящая из одного или нескольких профилей, имеющих редуцированные геометрические характеристики поперечного сечения, и нормируемая нормативным документом [9].

При необходимости усиливать существующие сечения указанный метод теоретически позволяет использовать характеристики сечений с учетом локального усиления, однако, по сути, расчет всего сооружения фактически сводится к расчету одиночной плоской арки, и не учитывает пространственную работу сооружения, что идет в запас прочности и увеличивает расход материала на усиление конструкции. Также трудно осуществить расчет комбинации усиленных и не усиленных гофрированных профилей в данной постановке.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В рассматриваемом случае для решения задачи оптимального конструктивного усиления следует проводить пространственное моделирование гофрированного покрытия с элементами усиления методом конечных элементов (МКЭ), что подтверждается результатами экспериментальных исследований [4, 10–19]. Однако при прямой постановке задачи общий объем достоверной МКЭ-модели может превысить несколько сотен тысяч элементов, с соответствующим увеличением продолжительности и трудоемкости расчета, особенно с учетом геометрической нелинейности.

Для оптимизации процесса моделирования и уменьшения общего объема модели предлагается методика расчета ангара из тонкостенного холодногнутого профиля (рис. 3), основанная на про-

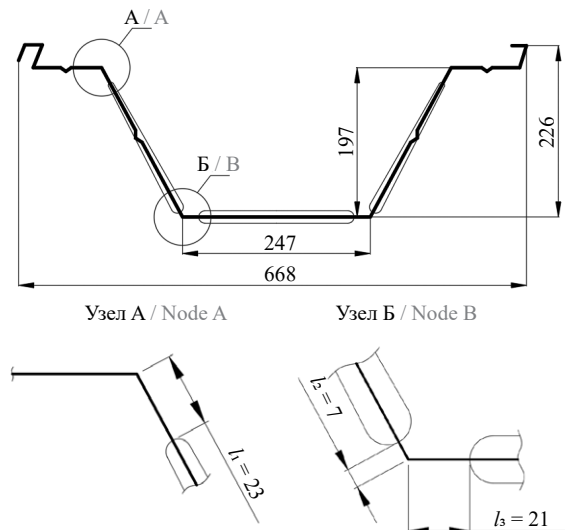


Рис. 3. Схема профиля с рифлением с указанием расстояний ($l_1 - l_3$) от углов до начала рифления

Fig. 3. The layout of a corrugated profile indicating distances ($l_1 - l_3$) between the corners and the corrugated part

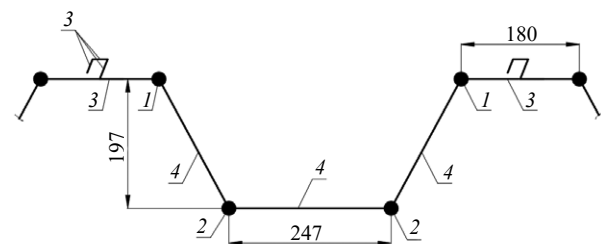


Рис. 4. Схема поперечного сечения фрагмента покрытия, состоящая из стержней и пластин: 1, 2 — стержни; 3, 4 — пластины

Fig. 4. The layout of a cross-section of a cover fragment consisting of rods and plates: 1, 2 — rods; 3, 4 — plates

странственном моделировании арочных профилей конструкции стержневыми и ортотропными пластинами (рис. 4).

Контур арки разбит на 100 элементов, соответственно длина одного элемента по контуру составляет примерно 27 см. Величина элементов вдоль ангара равна геометрическому размеру полок и стенок гофра.

Стержни в позициях 1 и 2 имеют разные площади, зависящие от различий в длинах участков от угла перегиба до начала рифления (рис. 3).

Пластина 3 используется для моделирования узких полок профиля и работает изотропно. Пластина 4 служит для моделирования рифленых частей наклонных участков и широкой полки и обладает ортотропными свойствами, так как жесткость в продольном направлении гофра примерно в 20 раз меньше, чем в поперечном [4]. Для расчета жесткости необходимо определить отношение жесткости рифленого листа к жесткости плоского листа той же толщины при осевом единичном усилии.

³ СП 260.1325800.2016. Конструкции стальные тонкостенные из холодногнутого оцинкованных профилей и гофрированных листов.

⁴ СТО 97217441-002-2018. Конструкции стальные из тонкостенных холодногнутого профилей повышенной несущей способности для бескаркасных арочных однопролетных зданий. Проектирование, изготовление, монтаж.

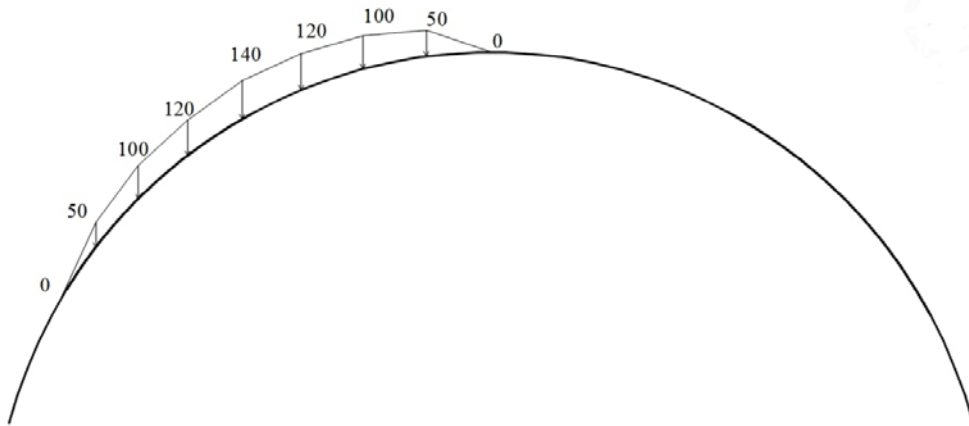


Рис. 5. Схема приложения снеговой нагрузки, кг/м

Fig. 5. Snow load pattern, kg/m

Для верификации предлагаемого метода выполнен расчет условной широко распространенной арки пролетом 20 м, высотой 8 м с профилем высотой 260 мм и сталью марки 220 толщиной 1,2 мм на действие неравномерно распределенной снеговой нагрузки, соответствующей I снеговому району в плоской постановке с редуцированными параметрами, и расчет той же арки с использованием комбинированного сечения из пластин и стержней в пространственной постановке (рис. 4). Как показывают расчеты арки в плоской постановке, данный вид нагрузки наиболее опасен для арочных покрытий из тонкостенных холодногнутого профилей (рис. 5) [4].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты сравнения перемещений и напряжений приведены на рис. 6, 7. Графики представле-

ны в одних координатных сетках для возможности сравнения без привязки к конкретным параметрам арки.

Результаты сравнения напряжений и перемещений показывают удовлетворительную сходимость с различиями в сторону снижения по максимальным напряжениям порядка 2 % и порядка 20 % по горизонтальным перемещениям в пространственной модели, что является следствием учета ее пространственной работы, дающей более достоверные результаты.

Данный подход применим для оценки совместной работы основной конструкции и конструкций усиления вне зависимости от метода усиления. В качестве примера был проведен расчет конструкции, допускающей без усиления эксплуатацию в I снеговом районе (расчетная снеговая нагрузка 70 кг/м²)

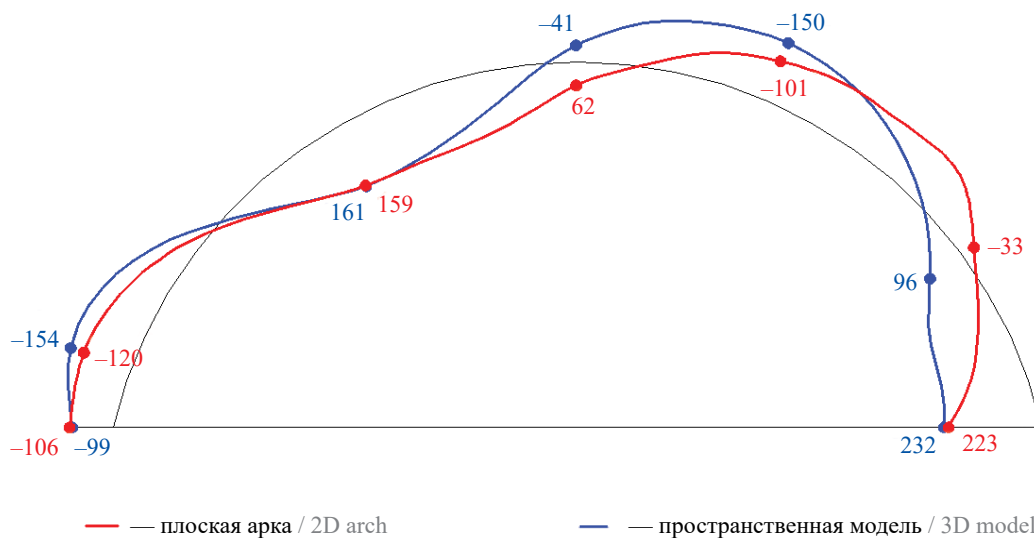


Рис. 6. Результаты сравнения напряжений в арках при плоской и пространственной постановках в условиях I снегового района, МПа

Fig. 6. Comparison of stresses arising in 2D and 3D arch models in conditions of the 1st snowy region, MPa

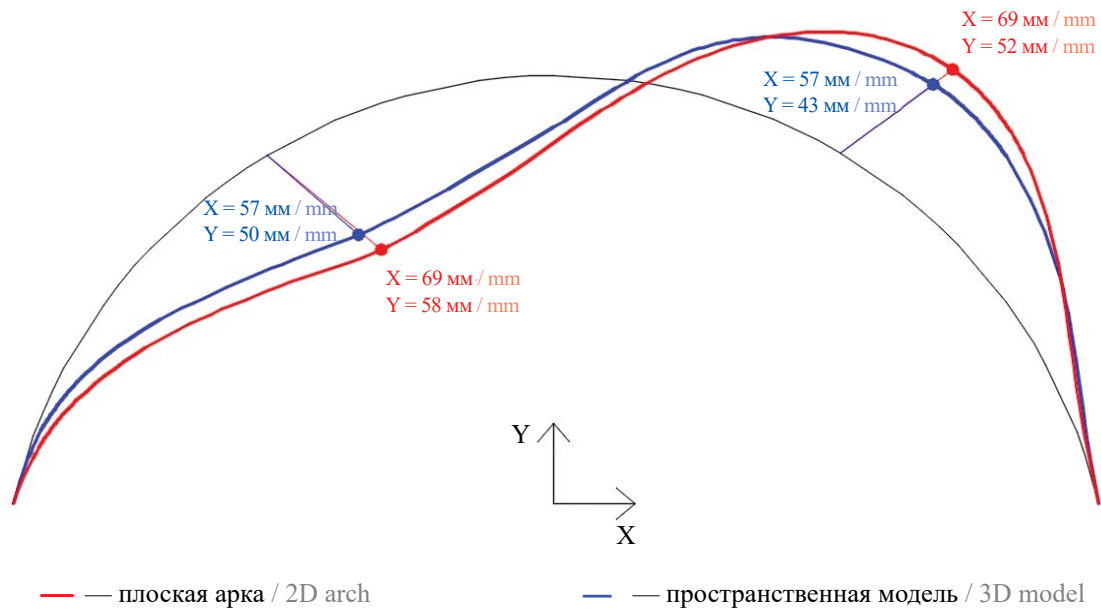


Рис. 7. Результаты сравнения перемещений в арках при плоской и пространственной постановках в условиях I снегового района, мм

Fig. 7. Comparison of displacements in a 2D arch model and a 3D arch model in conditions of the 1st snowy region, mm

и усиленной арочным каркасом в виде треугольных ферм с прогонами для возможности эксплуатации в III снеговом районе (расчетная снеговая нагрузка 210 кг/м^2). Поперечное сечение с конструкциями усиления в виде арочных ферм с тремя поясами, соединенных раскосами, представлено на рис. 8.

Тип решетки фермы — треугольная с раскосами, шаг узлов крепления раскосов $\approx 1,4 \text{ м}$. Пояса арочных ферм — профили квадратного сечения

60×3 , раскосы — профили квадратного сечения 40×2 , габариты фермы (ширина \times высота) — $650 \times 500 \text{ мм}$.

Фермы усиления соединялись между собой продольными прогонами, на которые осуществлялось опирание фрагментов покрытия, распложенных между фермами усиления.

Геометрические характеристики элементов 1–3 остались без изменений. Треугольная фер-

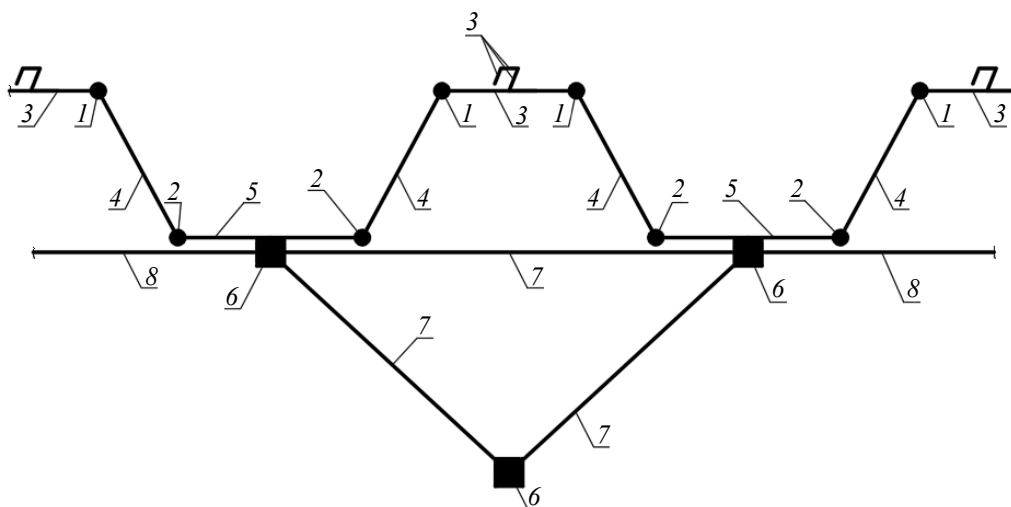


Рис. 8. Схема поперечного сечения фрагмента покрытия с усилением из треугольных ферм и прогонов

Fig. 8. Layout of a cover cross-section reinforced by triangular trusses and girders

ма усиления состоит из поясов 6 и раскосов 7. Фермы вдоль ангара соединяются прогонами 8. Широкая полка профиля 5 в данном случае приобретает отличные от первоначальной схемы характеристики, так как при соединении с поясами ферм лист выпрямляется и жесткость рифленых участков повышается.

Пространственная МКЭ-модель сооружения, с помощью которой оценивалось НДС усиленных несущих конструкций, приведена на рис. 9.

Результаты совместной работы основной конструкции и конструкций усиления показаны на рис. 10, 11.

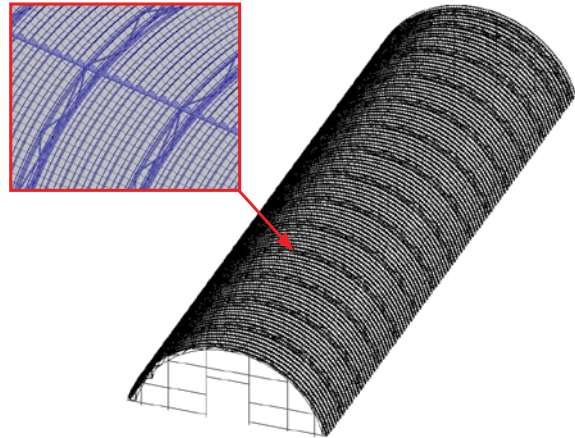


Рис. 9. Пространственная конечно-элементная модель ангара с фермами усиления

Fig. 9. The finite element model of a hangar with reinforcement trusses

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ результатов расчета бескаркасного арочного покрытия в плоской постановке по методике свода правил³ и в пространственной МКЭ-

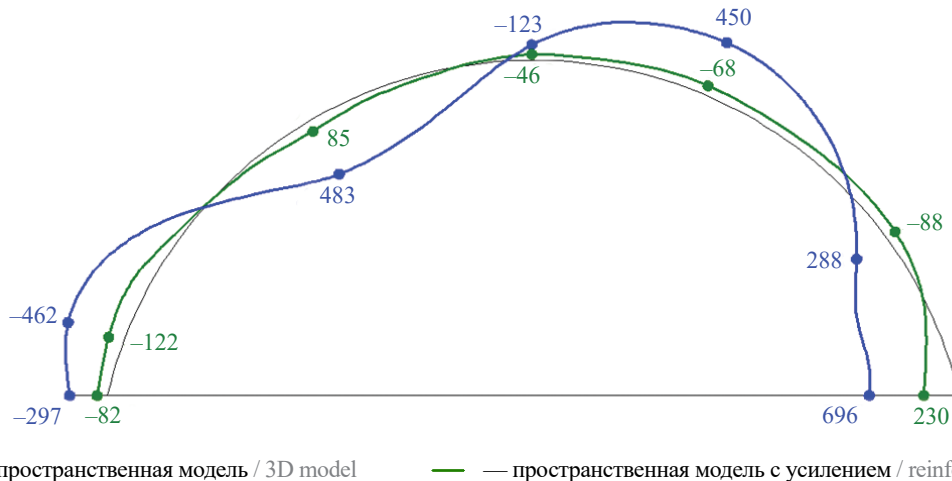


Рис. 10. Сравнение напряжений в нижнем поясе арки с усилением и без усиления фермами в условиях III снегового района, МПа

Fig. 10. Comparison of stresses arising in the arch rib with and without reinforcement in conditions of the 3rd snow region, MPa

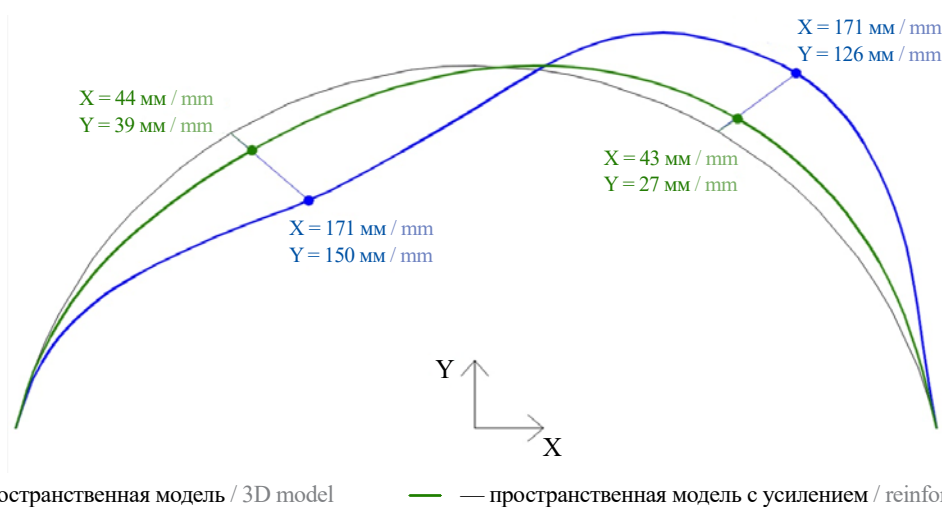


Рис. 11. Сравнение перемещений пространственных моделей с усилением и без усиления в условиях III снегового района, мм

Fig. 11. Comparison of displacements in 3D models with and without reinforcement in conditions of the 3rd snow region, mm

постановке с использованием конечных элементов (КЭ) в виде стержней и ортотропных пластин показал хорошее совпадение в зоне максимальных напряжений (участки приложения снеговой нагрузки). Максимальные нормальные напряжения в плоской арке на 2 % выше, чем в пространственной модели, поскольку арка работает в условиях одноосного напряженного состояния, в то время как часть КЭ пространственной модели (изотропные и ортотропные пластины) находится в условиях плоского напряженного состояния. Максимальные перемещения в плоской арке существенно выше, чем в пространственной модели (до 21 %), что связано с редуцированием параметров сечений для плоской арки, приводящим к снижению их жесткости.

На участках покрытия, свободных от действия нагрузки, и где напряжения в плоской арке в целом ниже, чем в зоне действия нагрузки, разница по напряжениям доходит до 48 %, что объясняется зависимостью значений коэффициентов редуцирования рифленых участков от уровня нагружения в то время, как пространственная МКЭ-модель лишена данных недостатков.

Метод усиления арочного покрытия с помощью установки каркаса в виде арочных ферм треугольного сечения и продольных прогонов позволил обеспечить нормативный уровень напряжений в элементах покрытия и каркаса и повысить допустимый уровень снеговых нагрузок с I до III снегового района.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Айрумян Э.Д., Каменщиков Н.И., Липленко М.А. Перспективы ЛСТК в России // *Стройпрофи*. 2013. № 10 (19). С. 12–17.
2. Липленко М.А., Кунин Ю.С. Механические характеристики стали тонкостенных холодногнутых профилей бескаркасных зданий // *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*. 2016. Т. 82. № 4. С. 47–52.
3. Зверев В.В., Жидков К.Е., Капырин Н.В., Карманов И.В. К вопросу обеспечения надежности бескаркасных арочных зданий // *Строитель Донбаса*. 2019. № 2 (7). С. 45–48.
4. Липленко М.А., Айрумян Э.Д. Особенности работы бескаркасных арочных покрытий из стальных холодногнутых профилей // *Промышленное и гражданское строительство*. 2011. № 6. С. 42–44.
5. Липленко М.А. Несущая способность бескаркасных арочных покрытий из стальных холодногнутых профилей с поперечно-гофрированными гранями : дис. ... канд. техн. наук. М., 2017. С. 193–206.
6. Олейник А.И. Усиление большепролетных бескаркасных ангаров // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2018. № 8 (716). С. 15–27.
7. Олейник А.И. Об эффективности внешнего усиления бескаркасных ангаров // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2019. № 8 (728). С. 5–18. DOI: 10.32683/0536-1052-2019-728-8-5-18
8. Кузнецов И.Л., Исаев А.В., Пальмов Д.А. Усиление бескаркасного арочного сооружения системой хордовых затяжек // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2013. № 2 (24). С. 113–117.
9. Липленко М.А. Метод нагружения арочной конструкции при испытаниях // *Строительная механика и расчет сооружений*. 2014. № 3 (254). С. 57–61.
10. Липленко М.А., Кунин Ю.С., Володин М.В. Экспериментальные исследования профилированного настила нового типа // *Строительная механика и расчет сооружений*. 2015. № 6 (263). С. 67–76.
11. Liplenko M.A., Ayrumyan E.L. Load-carrying capacity of frameless arched roofs structures with cold-formed profiles // *Eurosteel 2014*. 2015. Pp. 451–452.
12. Ayrumyan E.L., Kamenshchikov N.I., Liplenko M.A. Stability and load-bearing capacity of the light gauge cold-formed purlins at the slope roofs // *Proceedings of the international colloquium on stability and ductility of steel structures, SDSS 2016*. 2016. Pp. 283–288.
13. Korsun N., Prostakishina D. Bearing capacity of steel thin-walled profiles in reliability assessment // *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 97. P. 04049. DOI: 10.1051/e3sconf/20199704049
14. Енджиевский Л.В., Тарасов А.В. Численные и экспериментальные исследования рамы каркаса здания из тонколистовой оцинкованной стали // *Промышленное и гражданское строительство*. 2012. № 10. С. 52–54.
15. Сеутов Е.А., Макеев С.А. Способ определения остаточных напряжений в арочных профилях // *Динамика систем, механизмов и машин*. 2019. Т. 7. № 1. С. 146–153. DOI: 10.25206/2310-9793-7-1-146-153
16. Piekarczyk A., Malowany K., Więch P., Kujawińska M., Sulik P. Stability and bearing capacity of arch-shaped corrugated shell elements: Experimental and numerical study // *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*. 2015. Vol. 63. Issue 1. Pp. 113–123. DOI: 10.1515/bpasts-2015-0013
17. Maślak M., Pazdanowski M., Suchodoła M. Influence of geometrical imperfection on critical temperature evaluation for steel corrugated arch sheets exposed to fire // *MATEC Web of Conferences*. 2019. Vol. 262. P. 09007. DOI: 10.1051/matecconf/201926209007
18. Piekarczyk A. Test-supported numerical analysis for evaluation of the load capacity of thin-walled corrugated profiles // *Bulletin of the Polish Academy*

of Sciences Technical Sciences. 2017. Vol. 65. Issue 6. Pp. 791–798. DOI: 10.1515/bpasts-2017-0087

19. Piekarczyk A., Więch P., Kuczyński K., Walentyński R. Experimental and computational ap-

proaches to the evaluation of double corrugated arch structures. A review of the latest advancements // Archives of Civil Engineering. 2021. Vol. 67. Issue 2. Pp. 7–35. DOI: 10.24425/ace.2021.137152

Поступила в редакцию 9 июня 2022 г.

Принята в доработанном виде 10 июля 2022 г.

Одобрена для публикации 10 июля 2022 г.

ОБ АВТОРАХ: **Андрей Валентинович Коргин** — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры испытаний сооружений; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 350779, Scopus: 6506837259, ResearcherID: B-4206-2016, ORCID: 0000-0002-5865-2891; Korguine@mgsu.ru;

Валентин Алексеевич Ермаков — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры испытаний сооружений; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 671368, Scopus: 57202806137, ResearcherID: AFZ-4645-2022, ORCID: 0000-0002-8862-8139; Ermakov@mgsu.ru;

Лейс Зейдович Зейд Килани — старший преподаватель кафедры испытаний сооружений; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 676773, Scopus: 57190731162, ORCID: 0000-0002-9533-8260; Zeydkilanilz@mgsu.ru.

Вклад авторов:

Коргин А.В. — научное руководство, концепция исследования, развитие методологии, редактирование исходного текста, анализ полученных результатов, составление итоговых выводов.

Ермаков В.А. — проведение расчетов, анализ полученных результатов, составление исходного текста и итоговых выводов.

Зейд Килани Л.З. — проведение расчетов, анализ полученных результатов, составление исходного текста и итоговых выводов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Ayrumyan E.L., Kamenshchikov N.I., Liplenko M.A. Prospects for LSTC in Russia. *Stroyprofi*. 2013; 10(19):12-17. (rus.).
2. Liplenko M.A., Kunin Yu.S. Experimental study of the mechanical properties of cold-formed steel profiles of frameless buildings. *Industrial Laboratory. Materials Diagnostics*. 2016; 82(4):47-52. (rus.).
3. Zverev V.V., Zhidkov K.E., Kapyrin N.V., Karmanov I.V. Revisiting the ensuring of reliability of frameless arched buildings. *The Donbas Constructor*. 2009; 2(7):45-48. (rus.).
4. Liplenko M.A., Ayrumyan E.L. Peculiarities of behavior of frameless arch roofs from steel cold-formed sections. *Industrial and Civil Engineering*. 2011; 6:42-44. (rus.).
5. Liplenko M.A. *Bearing capacity of framed arched coatings from steel cold-formed profiles with transverse-corrugated faces : PhD thesis*. Moscow, 2017; 193-206. (rus.).
6. Oleinik A.I. Strengthening of large-span frameless hangars. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2018; 8(716):15-27. (rus.).
7. Oleinik A.I. On the effectiveness of external reinforcement of frameless hangars. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2019; 8(728):5-18. DOI: 10.32683/0536-1052-2019-728-8-5-18 (rus.).
8. Kuznetsov I.L., Isaev A.V., Palmov D.A. Enhancement of frameless arch building by the system of chordates puffs. *News of the Kazan State University of Architecture and Engineering*. 2013; 2(24):113-117. (rus.).
9. Liplenko M.A. Loading method for arch structure during tests. *Structural Mechanics and Analysis of Constructions*. 2014; 3(254):57-61. (rus.).
10. Liplenko M.A., Kunin Y.S., Volodin M.V. Experimental studies of a new type profile decking. *Structural Mechanics and Analysis of Constructions*. 2015; 6(263):67-76. (rus.).
11. Liplenko M.A., Ayrumyan E.L. Load-carrying capacity of frameless arched roofs structures with cold-formed profiles. *Eurosteel 2014*. 2015; 451-452.
12. Ayrumyan E.L., Kamenshchikov N.I., Liplenko M.A. Stability and load-bearing capacity of the light gauge cold-formed purlins at the slope roofs. *Proceedings of the international colloquium on stability and ductility of steel structures, SDSS 2016*. 2016; 283-288.

13. Korsun N., Prostackishina D. Bearing capacity of steel thin-walled profiles in reliability assessment. *E3S Web of Conferences*. 2019; 97:04049. DOI: 10.1051/e3sconf/20199704049
14. Endzhievsky L.V., Tarasov A.V. Numerical and experimental studies of a galvanized sheet steel frame of a building framework. *Industrial and Civil Engineering*. 2012; 10:52-54. (rus.).
15. Seitov E.A., Makeev S.A. Method for defining residual stresses in arched profiles. *Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines*. 2019; 7(1):146-153. DOI: 10.25206/2310-9793-7-1-146-153 (rus.).
16. Piekarczuk A., Malowany K., Więch P., Kujawińska M., Sulik P. Stability and bearing capacity of arch-shaped corrugated shell elements: Experimental and numerical study. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*. 2015; 63(1):113-123. DOI: 10.1515/bpasts-2015-0013
17. Maślak M., Pazdanowski M., Suchodoła M. Influence of geometrical imperfection on critical temperature evaluation for steel corrugated arch sheets exposed to fire. *MATEC Web of Conferences*. 2019; 262:09007. DOI: 10.1051/mateconf/201926209007
18. Piekarczuk A. Test-supported numerical analysis for evaluation of the load capacity of thin-walled corrugated profiles. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*. 2017; 65(6):791-798. DOI: 10.1515/bpasts-2017-0087
19. Piekarczuk A., Więch P., Kuczyński K., Walentyński R. Experimental and computational approaches to the evaluation of double corrugated arch structures. A review of the latest advancements. *Archives of Civil Engineering*. 2021; 67(2):7-35. DOI: 10.24425/ace.2021.137152

Received June 9, 2022.

Adopted in revised form on July 10, 2022.

Approved for publication on July 10, 2022.

B I O N O T E S: **Andrey V. Korgin** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Testing Structures; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 350779, Scopus: 6506837259, ResearcherID: B-4206-2016, ORCID: 0000-0002-5865-2891; korguine@mgsu.ru;

Valentin A. Ermakov — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Testing Structures; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 671368, Scopus: 57202806137, ResearcherID: AFZ-4645-2022, ORCID: 0000-0002-8862-8139; Ermakov@mgsu.ru;

Leys Z. Zeyd Kilani — senior lecturer of the Department of Testing Structures; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 676773, Scopus: 57190731162, ORCID: 0000-0002-9533-8260; Zeydkilani@mgsu.ru.

Contribution of the authors:

Andrey V. Korgin — scientific guidance, research concept, development of methodology, editing of the source text, analysis of the results obtained, drawing up final conclusions.

Valentin A. Ermakov — calculations, analysis of the results obtained, compilation of the source text and final conclusions.

Leys Z. Zeyd Kilani — calculations, analysis of the results, compilation of the source text and final conclusions.

The authors declare that there is no conflict of interests.

Исследование свойств щелочных вяжущих материалов с добавкой тонкодисперсного бентонита

Мадина Шахидовна Саламанова^{1,2}, Зураб Шарудиевич Гацаев^{1,2},
Вячеслав Валерьевич Сызранцев¹

¹ Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова (ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова); г. Грозный, Россия;

² Комплексный научно-исследовательский институт имени Х.И. Ибрагимова Российской академии наук; г. Грозный, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Поиск новых вариантов получения менее энергоемких материалов за счет снижения их себестоимости, расширения минерально-сырьевой базы благодаря использованию местных сырьевых ресурсов и промышленных отходов, а также развития эффективных технологий производства является актуальной проблемой строительной отрасли. Бесклинкерная технология изготовления гидравлических вяжущих позволит частично заменить ресурсоемкий портландцемент в строительстве и поможет в определенной доле решить эти проблемные вопросы, одновременно повышая экологическую безопасность на мировом уровне. Предлагаемые вяжущие материалы, основанные на принципах структурообразования в щелочных системах как совокупности последовательно и параллельно протекающих физико-химических превращений путем контактного взаимодействия тонкодисперсных порошков алюмосиликатной природы с катионами щелочных металлов, способствуют образованию прочных и долговечных композитов.

Материалы и методы. Исследование энергодисперсионного микроанализа используемых компонентов вяжущей системы выполнено на растровом электронном микроскопе QUANTA 3D, гранулометрия частиц изучена на анализаторе HORIBA методом динамического рассеяния света. Прочностные характеристики вяжущих систем «аспирационная пыль – бентонит – $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ » определялись согласно ГОСТ 30744-2001 на испытательной машине Testometric FS150AT.

Результаты. Электронно-микроскопический анализ показал, что частицы аспирационной пыли размерами более 200 мкм и менее 100 мкм имеют схожий оксидный состав с преобладанием оксидов кальция, кремния, алюминия и углерода. Химический состав бентонита подтверждает алюмосиликатную природу. Установлено повышение физико-механических свойств образцов систем «аспирационная пыль – бентонит – $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ », именно добавка бентонита более высокой дисперсности способствует получению плотной упаковки зерен путем перераспределения частиц в объеме, что положительно отразилось на поровой структуре и водостойкости цементного камня.

Выводы. Результаты исследования подтвердили новые возможности щелочной активации комплексных порошков из отходов цементной промышленности и бентонитовой глины, полученные характеристики и зависимости позволяют применять предлагаемую технологию в строительстве.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: аспирационная пыль, щелочной раствор, жидкое стекло, бентонитовая глина, гранулометрический состав, вяжущие системы, цементный камень

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Саламанова М.Ш., Гацаев З.Ш., Сызранцев В.В. Исследование свойств щелочных вяжущих материалов с добавкой тонкодисперсного бентонита // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 8. С. 1017–1026. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.8.1017-1026

Автор, ответственный за переписку: Мадина Шахидовна Саламанова, madina_salamanova@mail.ru.

Investigation of the properties of alkaline binding materials with the addition of fine bentonite

Madina Sh. Salamanova^{1,2}, Zurab Sh. Gatsaev^{1,2}, Vyacheslav V. Syzrantsev¹

¹ Grozny State Oil Technical University named after academician M.D. Millionshchikov (GSOTU named after academician M.D. Millionshchikov); Grozny, Russian Federation;

² Complex Research Institute named after Kh.I. Ibragimov of the Russian Academy of Sciences; Grozny, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Searching for new methods of making less energy-intensive materials by reducing their cost, adding local raw materials and industrial waste to the mineral resource base, as well as developing efficient production technologies is a relevant problem of the construction industry. A clinker-free technology for the manufacture of hydraulic binders will partially replace resource-intensive Portland cement in construction and help to solve these problematic issues to a certain extent and boost the environmental safety at the global level. The proposed binders, based on principles of structurization in alkaline systems

as a combination of sequential and parallel physical and chemical transformations due to the contact interaction between fine powders of aluminosilicate nature and cations of alkali metals, contribute to the formation of strong and durable composites.

Materials and methods. The study of energy dispersive microanalysis of components of the binder system was performed using the QUANTA 3D scanning electron microscope; dynamic light scattering was employed to study the particle granulometry with the help of the HORIBA analyzer. The strength characteristics of the binder systems “aspiration dust – bentonite – $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{SiO}_2$ ” were determined according to GOST 30744-2001 using Testometric FS150AT testing machine.

Results. Electron microscopic analysis showed that particles of aspiration dust larger than 200 microns and smaller than 100 microns have a similar oxide composition, with a predominance of oxides of calcium, silicon, aluminum and carbon. The chemical composition of bentonite confirms the aluminosilicate nature. An increase in the physical and mechanical properties of specimens of the systems “aspiration dust – bentonite – $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{SiO}_2$ ” has been identified; it is the addition of higher dispersion bentonite that contributes to the dense packing of grains due to the volume-wise redistribution of particles, which positively affects the pore structure and water resistance of the cement stone.

Conclusions. The results of the study have proven the new prospects for the alkaline activation of complex powders made of cement industry waste and bentonite clay; the characteristics and dependencies, obtained by the authors, will allow using the proposed technology in construction.

KEYWORDS: aspiration dust, alkaline solution, liquid glass, bentonite clay, granulometric composition, binder systems, cement stone

FOR CITATION: Salamanova M.Sh., Gatsaev Z.Sh., Syzrantsev V.V. Investigation of the properties of alkaline binding materials with the addition of fine bentonite. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2022; 17(8): 1017-1026. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.8.1017-1026 (rus.).

Corresponding author: Madina Sh. Salamanova, madina_salamanova@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие строительного комплекса и региональной экономики в целом требует увеличения потребности в широком спектре строительных материалов. Это обуславливает поиск путей снижения их себестоимости, расширения минерально-сырьевой базы за счет использования местных сырьевых ресурсов и промышленных отходов, а также новых эффективных технологий их производства. Бесклинкерная технология изготовления гидравлических вяжущих, позволяющих частично заменить ресурсоемкий портландцемент в строительстве, поможет в определенной доле повысить экологическую безопасность на мировом уровне.

Дополнение существующих представлений о процессах гидратационного твердения и создании вяжущих щелочной активации на основе минеральных добавок природного и техногенного происхождения приобретает в настоящее время особую актуальность. Во многих регионах страны функционируют заводы по выпуску портландцемента, вращающиеся клинкерообжигательные печи являются источниками вредных выбросов газа и реакционной пыли в атмосферу и окружающую среду. Непригодная для повторного возврата в технологический процесс аспирационная пыль улавливается в огромных объемах электрофильтрами пылеочистных сооружений и может служить ценным сырьем в производстве вяжущих щелочного затворения [1, 2].

К тому же вяжущие щелочной активации имеют преимущества не только за счет вовлечения неиспользуемых отходов промышленности в технологию, но и из-за улучшенных физико-механических характеристик и долговечности строительных композитов на их основе.

Многие свойства вяжущих композиций, в том числе их реакционная способность, прочность, скорость твердения, стойкость в различных условиях

и другие, определяются их химико-минералогическим составом, степенью измельчения вяжущего, его зерновым составом и формой частичек порошка. Результаты исследований по созданию минерально-шлаковых вяжущих и строительных материалов на их основе с использованием горных пород осадочного и вулканического происхождения: глины, известняка, доломита, молотого гравия, кремнеземистых и глауконитовых песчаников, базальта, диабазы, гранита, сиенита, диорита в тонкодисперсном состоянии показали хорошую совместимость минералов с включениями кварца, алюмосиликатов и кальцита с компонентами шлака в щелочной среде с формированием нормативной прочности до 33–50 МПа. Полученные на их основе минерально-шлаковые композиты отличаются высокими прочностью, водо-, трещино- и морозостойкостью, низкими усадочными деформациями [1–5].

Представленные результаты исследования многокомпонентных наполненных вяжущих систем щелочного затворения с использованием тонкодисперсных порошков из горных пород осадочного и магматического происхождения: окремненного мергеля Веденского месторождения, барханных песков Шелковского месторождения, вулканического туфа из Кабардино-Балкарской Республики, а также аспирационной и клинкерной цементной пыли электрофильтров цементного завода, свидетельствуют о получении строительных композитов с достаточно хорошими прочностными показателями [2, 4]. Установлена наиболее рациональная рецептура вяжущей связки «аспираторная пыль – клинкерная пыль – вулканический туф – $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{SiO}_2$ », а проведенные дифференциально-термические и рентгенофлуоресцентный анализы подтвердили присутствие в составе цементного камня (ЦК) следующих фаз: цеолита, кальцита, слюды типа мусковит, монтмориллонита (основной компонент бентонита), оксида магния, сульфалоумината кальция, этtringита, гидрохлора-

люмината кальция, гидросиликатов кальция, гидрида силиката кальция. Регулируя соотношение компонентов вяжущей связки и их удельную поверхность, введением в систему тонкодисперсных добавок алюмосиликатной природы можно получать качественный долговечный материал с новым уровнем технологических и эксплуатационных характеристик [5–7]. Щелочная активация полиминеральных глин месторождений Республики Татарстан, предварительно подвергнутых термоактивации при температуре 750 °С, способствовала существенному улучшению свойств строительных композитов [8].

Небольшой аналитический обзор исследований в области бесклинкерной технологии подтверждает перспективность данного направления, а возможность утилизации неиспользуемого в производстве вторичного материала позволит расширить сырьевую базу и внести определенный вклад в улучшение экологической обстановки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В данной работе представлены разработки бесклинкерных вяжущих щелочной активации, основанные на щелочной активации порошков аспирационной пыли и бентонитовой глины. Исследование химического состава используемого бентонитового сырья месторождений Чеченской Республики и аспирационной пыли (АО «Чеченцемент») выполнено на растровом электронном микроскопе QUANTA 3D 200i с интегрированной системой микроанализа Genesis Apex 2 EDS от EDAX в режиме высокого вакуума при

различных увеличениях. Обработка спектров производилась при помощи программного обеспечения EDAX TEAM EDS. Распределение частиц по размерам определяли на анализаторе субмикронных частиц HORIBA (Япония) методом динамического рассеяния света. Прочностные характеристики вяжущих систем «аспирационная пыль – бентонит – $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ » устанавливались согласно ГОСТ 30744-2001 на стандартных образцах-балочках размером 40 × 40 × 160 мм из теста нормальной густоты. В качестве щелочного затворителя использовался водный раствор жидкого натриевого стекла с силикатным модулем 2,8 и плотностью 1,42 г/см³ (производитель ООО «Тантал-4» Московская область). Испытания прочности осуществляли на гидравлическом прессе Testometric FS150AT.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Химический состав исследуемых образцов, морфология и размер частичек порошкообразных компонентов щелочных вяжущих композиций представлены в таблице. Поскольку микроскопическому исследованию подвергается незначительное количество вещества, а результат переносится на большие партии клинкера, цемента или других материалов, необходимо обращать особое внимание на отбор средней пробы, которая являлась бы характерной для данной партии материала. При отборе средней пробы клинкера рекомендуется отбирать зерна различной гранулометрии, подбирая мелкие, средние и крупные гранулы [9, 10].

Химический состав исследуемых образцов и размер частичек порошка

Chemical composition of studied specimens and powder particle size

Оксиды Oxides	Аспирационная пыль, весовые % на участках образца Aspiration dust, weight percentage on the specimen surface		Бентонитовая глина Bentonite clay
	частицы > 200 мкм particles >200 μm	частицы < 100 мкм particles < 100 μm	весовые % на участках образца weight percentage on the specimen surface
CO ₂	10,7	9,70	–
MgO	0,73	0,68	1,36
Al ₂ O ₃	3,40	3,10	18,09
SiO ₂	14,6	14,8	63,38
SO ₃	1,80	3,20	–
Cl	0,32	0,40	–
K ₂ O	6,20	7,50	2,41
CaO	57,6	58,1	1,42
Fe ₂ O ₃	2,80	2,70	9,15

Наибольшее количество пыли выделяется из зон подсушки, кальцинирования и экзотермических реакций, поэтому основная ее масса состоит из смеси обожженной глины и неразложившегося известняка. Для анализа выбраны частицы аспирационной пыли размерами более 200 мкм и менее 100 мкм, значимой зависимости концентрации основных оксидов от размера зерен не наблюдается. Это подтверждается химическим составом, где на долю оксида кальция приходится 60 %, оксида кремния до 15 % и оксида углерода 10 % от общей массы. Химический состав бентонита месторождений Чеченской Республики имеет схожий химический состав с типовыми бентонитами других известных месторождений России, концентрации основных оксидов доминируют с небольшими отклонениями.

Размеры частиц и их распределение по крупности оказывают непосредственное влияние на свойства вяжущих веществ. Под гранулометрическим составом порошка понимают распределение его по величине частиц, следовательно, устанавливают размеры частиц и долю в процентах частиц различных классов крупности. Дисперсный состав аспирационной пыли предварительно определялся методами ситового и микроскопического анализа.

Поскольку наименьший размер ячеек, применяемых обычно в технике сит, составляет примерно 30–40 мкм, то ситовый анализ может характеризовать только гранулометрический состав грубодисперсных или гранулированных порошков (рис. 1). В материале зафиксировано преобладание крупных зерен в области 90 мкм, содержание частиц этого размера достигает до 27 %. Изучение дисперсности аспирационной пыли с помощью растрового электронного микроскопа QUANTA 3D 200i представлено на микрофотографиях при увеличениях максимально в 10 000 раз (рис. 2).

Для прочности и времени твердения ЦК важную роль имеют отдельные фракции и, по мнению авторов [11–15], частицы 0–5 мкм участвуют в наборе проч-

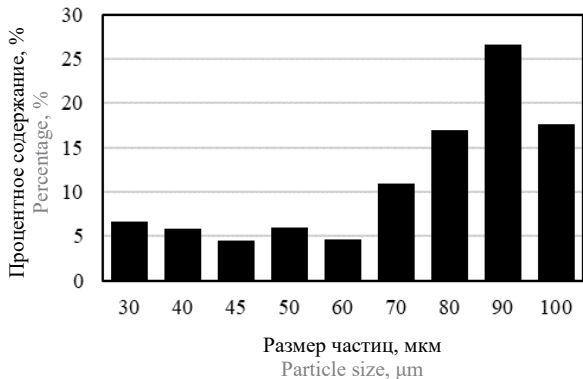


Рис. 1. Гранулометрический состав аспирационной пыли ситовым методом

Fig. 1. Granulometric composition of aspiration dust identified by using the sieve method

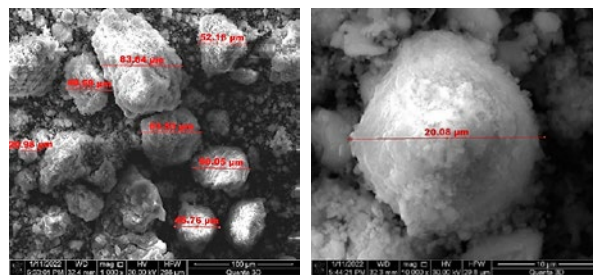


Рис. 2. Микрочастицы аспирационной пыли

Fig. 2. Microparticles of aspiration dust

ности в первые 24 ч твердения. Однако прочность ЦК, полученного из такой тонкой фракции, не самая высокая. Цементный камень, получаемый из фракций соответственно 5–10, 20–60 мкм (или других диапазонов), твердеет медленнее. Фракции частиц 60–200 мкм гидратируются достаточно долго, уплотняя ЦК, тем самым твердеют медленно и позднее достигают высокой прочности. На поверхности образца отсутствуют частицы, отличные от основного массива. Как показано на рис. 2, поверхность образца имеет однотипную шероховатую фактуру и размеры десятки мкм. Вся поверхность крупных частиц покрыта микрочастицами, размерами менее 3 мкм.

Структурными элементами бентонита являются алюмосиликатные слои толщиной 2 нм, а стороны пластины имеют длину приблизительно 50 и 150 нм, что объясняет высокие значения удельной поверхности. Исходя из структурного строения бентонит поддается механическому диспергированию в воде. С целью уменьшения среднего размера частиц бентонит измельчали в водной среде в планетарной шаровой мельнице с частотой вращения 500 об/мин, через определенные интервалы времени определяли размеры частиц на HORIBA (рис. 3).

Со временем в суспензии уменьшалась доля крупных частиц, одновременно увеличивалась доля частиц средних и мелких размеров. Опытным путем было подобрано оптимальное время измельчения 5 мин. Средний размер частиц бентонита в суспен-

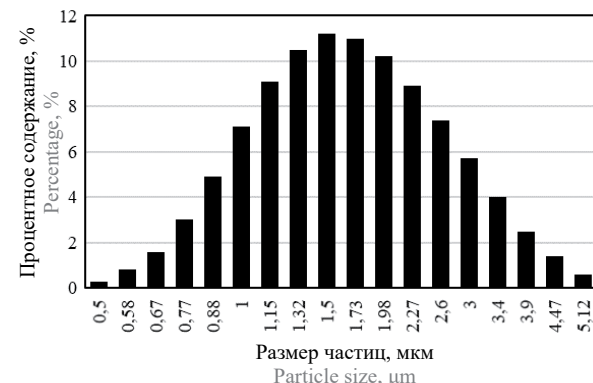


Рис. 3. График распределения частиц бентонита по размерам

Fig. 3. Bentonite particle size distribution diagram

зиях при этих условиях — 1500 нм. Дальнейшее увеличение времени измельчения сказывалось негативно на микрочастицах, приводя к их слипанию. С целью изучения поверхности добавки слой тонкодисперсного порошка бентонита необходимой толщины для исследований получали на специальном двухстороннем липком углеродном скотче (рис. 4).

С помощью прибора ПСХ-12 определяли удельную поверхность аспирационной пыли и природного измельченного бентонита (5 мин), числовые значения которых составили 280 и 550 м²/кг соответственно. Прочностные характеристики вяжущих систем «аспираторная пыль – бентонит – Na₂O·SiO₂» устанавливались в возрасте 7, 28 и 56 суток согласно ГОСТ 30744-2001, для этого изготавливались стандартные образцы-балочки размером 40 × 40 × 160 мм из теста нормальной густоты. В качестве мелкого заполнителя использовали песок Червленского месторождения в соотношении 1:3. Тонкодисперсный бентонит (ТБ) вводили в систему в количестве 3, 6, 9 и 12 % от массы аспираторной пыли. В качестве щелочного затворителя использовался водный раствор жидкого натриевого стекла с силикатным модулем 2,8 и плотностью 1,42 г/см³. Для экспериментов готовили не менее трех образцов для каждого испытания.

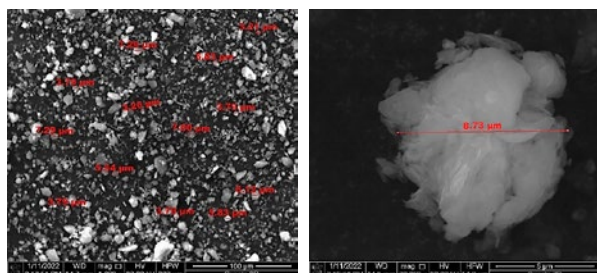
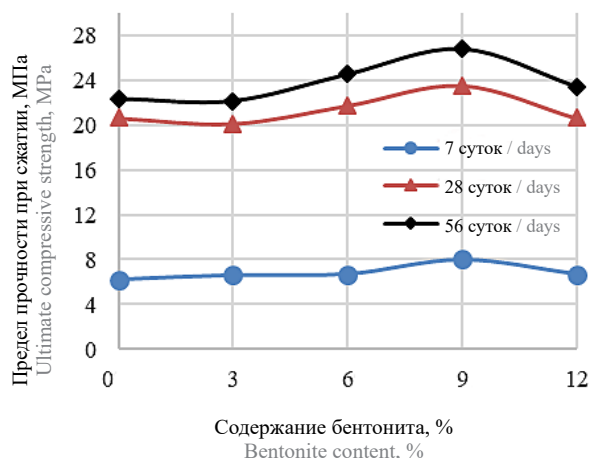
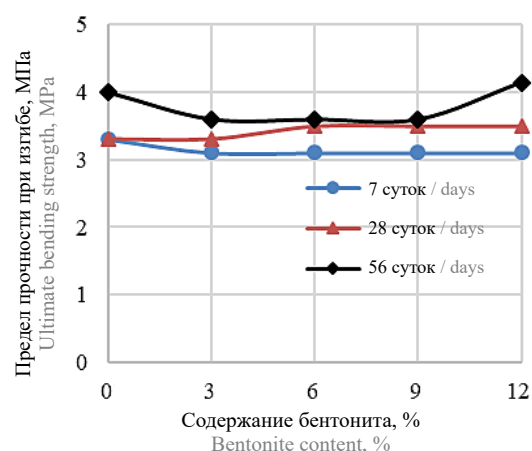


Рис. 4. Природный бентонит

Fig. 4. Natural bentonite



a



b

Рис. 5. График зависимости прочности при сжатии (a); изгибе (b) от содержания бентонита

Fig. 5. Compressive strength — bentonite content curve (a); bending strength — bentonite content (BC) curve (b)

После распалубки образцы хранились в воздушно-сухих условиях, периодически подвергались визуальному осмотру и через определенные промежутки времени подлежали испытанию на машине Testometric FS150AT (по 3 образца на каждое испытание). Полученные данные по испытанию вяжущих систем «аспираторная пыль – бентонит – Na₂O·SiO₂», имеющих различную концентрацию добавки бентонита, представлены на рис. 5, 7, 8.

Водопоглощение определяют путем сравнения показателей изменения массы до и после погружения образцов в воду, а именно до того времени, пока их масса не увеличится за сутки менее чем на 0,1 % от первоначальной. Образцы помещаются в емкость с водой (уровень жидкости на 5 см выше уровня бетона). Температура должна составлять 20±2 °С.

На рис. 5 приведены результаты испытаний, показывающие зависимость прочности при сжатии и изгибе от концентрации бентонита в возрасте 7, 28 и 56 суток.

Результаты исследований позволили определить максимальное значение прочности при сжатии вяжущей системы «аспираторная пыль – бентонит 9 % – Na₂O·SiO₂» (рис. 5, a), к тому же это лидирование наблюдалось в возрасте 7, 28 и 56 суток. В возрасте 7 сут добавка ТБ повышает прочность при сжатии образцов на 15 %, в возрасте 56 сут прочность увеличивается до 17 % по сравнению с контрольными образцами. Из представленных данных по прочности при изгибе видно, что введение бентонита в количестве 12 % приводит к повышению прочности на 5 % (рис. 5, b).

Для возможности визуально охарактеризовать исследуемые образцы были получены микрофотографии цементного камня вяжущей системы «аспираторная пыль – бентонит – Na₂O·SiO₂» при содержании бентонита 0, 3, 6, 9 и 12 % (рис. 6).

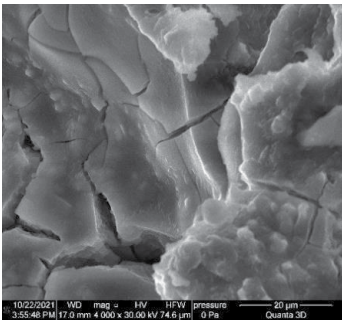
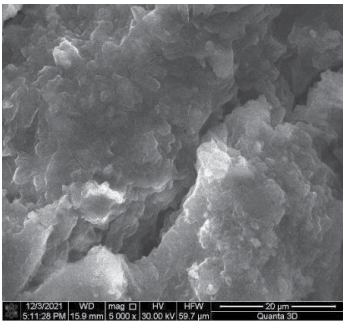
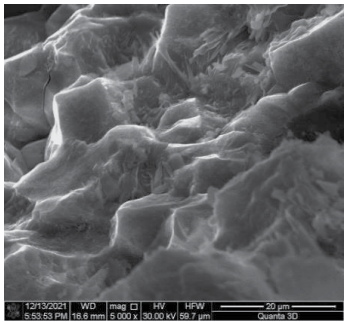
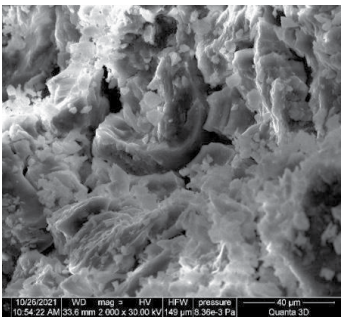
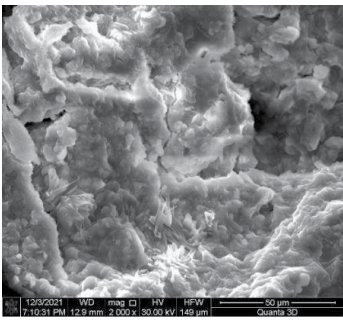
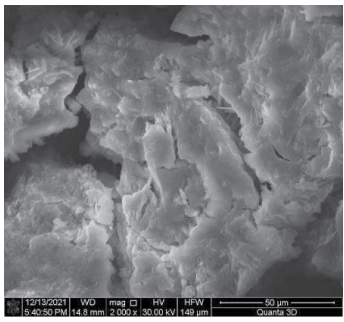
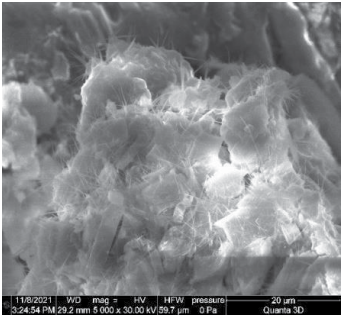
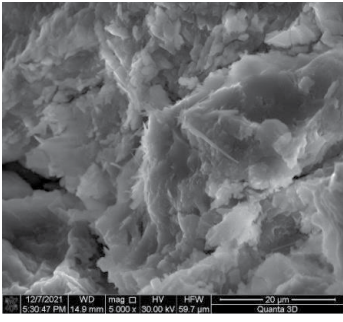
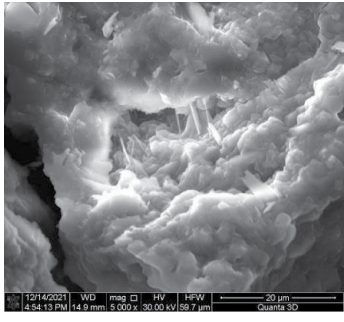
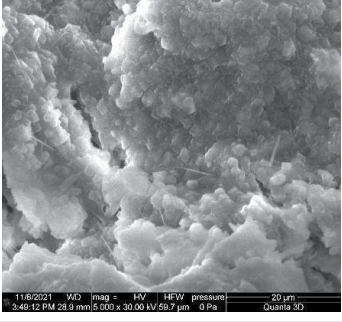
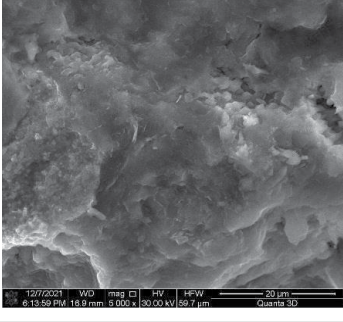
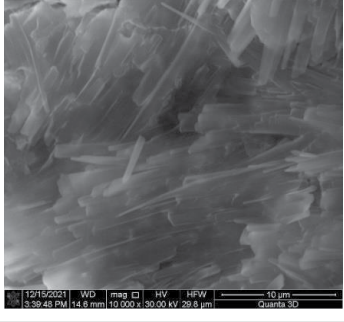
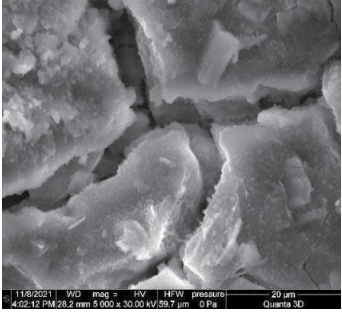
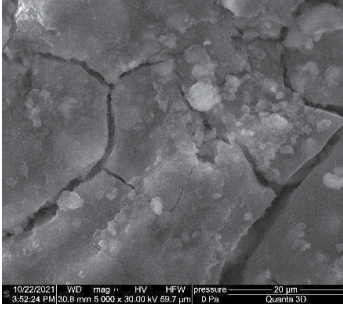
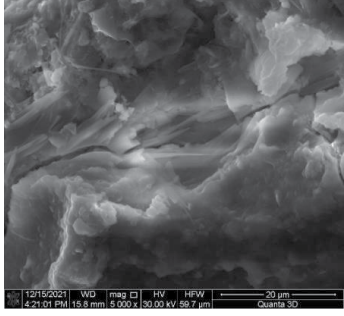
ТБ Bentonite content	Продолжительность твердения / Curing time		
	7 суток / days	28 суток / days	60 суток / days
0 %			
3 %			
6 %			
9 %			
12 %			

Рис. 6. Микрофотографии образцов цементного камня

Fig. 6. Micrographs of cement stone specimens

Изучая структуру ЦК по микрофотографиям, можно наблюдать, что образцы бездобавочные и с малым количеством добавки (3 %) имеют большую пористость и присутствие мелких трещин и пустот, что отрицательно сказывается на прочности композита. При увеличении содержания бентонита до 9 % микроструктура изменяется, количество пор и трещин снижается, формируется сглаженная, плотная структура. На поверхности разлома образца наблюдается однородное пространство, без пор, полностью закристаллизованное разрастающимися игольчатыми кристаллами, характерными для гидросиликатов кальция, обеспечивающих плотную и прочную структуру [16–20].

Повышение прочностных характеристик в образцах с добавкой бентонита в значительной степени может быть связано с получением более плотной упаковки зерен путем перераспределения частиц в объеме таким образом, что пустоты, создаваемые более крупными зернами аспирационной пыли, заполняются зернами меньшего размера тонкодисперсного бентонита. Создание достаточно прочных адгезионных контактов в системе «аспираторная пыль – бентонит» возможно лишь при оптимальной концентрации добавки, где образуется плотная мелкозернистая структура, что благоприятно отражается на свойствах искусственного камня. При избытке добавки бентонита с высокой дисперсностью зерен, в данном случае 12 %, возникают участки самонапряжения, что по мере роста кристаллов может привести к образованию трещин и другим нарушениям однородности микроструктуры.

Поровую структуру ЦК можно характеризовать по показателям водопоглощения по массе и водостойкости, результаты исследований представлены в виде графиков зависимости этих свойств от количества вводимой в систему добавки бентонита (рис. 7, 8).

Сравнив числовые значения водопоглощения образцов ЦК в возрасте 28 и 56 суток, можно сделать вывод, что пористость в образцах с 9 % бентонита меньше, чем у остальных образцов. Полученная зависимость подтверждает результаты исследования пористости, показывая внутренние дефекты, сквозь капилляры и поры может просачиваться вода.

В матрице камня без добавки образовалось множество микротрещин. В образцах, где присутствует тонкодисперсный бентонит, в достаточной степени заполнены зазоры и прочно сцеплены с зернами заполнителя. Количество микротрещин заметно ниже по сравнению с контрольным образцом. Исследование коэффициента размягчения подтвердило гидравлическую полученных вяжущих систем, именно при 9%-ной добавке бентонита установлена максимальная водостойкость 0,92 цементного камня.

С увеличением содержания бентонита до 9 % наглядно возрастает коэффициент размягчения, но при дальнейшем повышении наблюдается об-

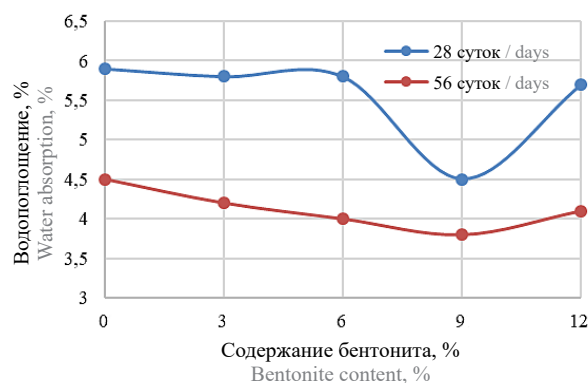


Рис. 7. График зависимости водопоглощения от концентрации бентонита

Fig. 7. Water absorption — bentonite concentration curve

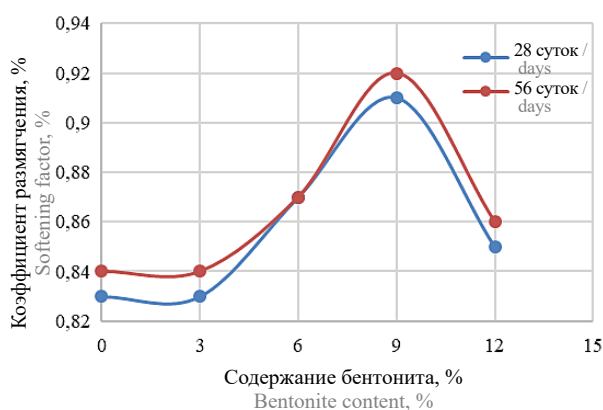


Рис. 8. График зависимости коэффициента размягчения от концентрации бентонита

Fig. 8. Softening factor — bentonite concentration curve

ратный эффект. Это объясняется значительным сопротивлением прохождению молекул воды через плотную структуру и тончайшие микрокапилляры, обеспечивает повышенную водостойкость системы, что подтверждается результатами исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Представленные результаты испытаний позволяют говорить об эффективности применения тонкодисперсного бентонита в качестве добавки в вяжущей системе «аспираторная пыль – бентонит – $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ ». Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что ТБ в количестве 9 % от массы аспираторной пыли улучшает прочностные характеристики и указывает на возможность использования данной смеси в качестве бесклнкерного вяжущего.

На основе проведенных исследований можно констатировать, что добавка бентонита благоприятно отразилась на структуре образцов и наборе прочности, о чем свидетельствуют микрофотографии ЦК, характеризующиеся со временем более высокой плотностью. Выявлены закономерности изме-

нения структуры бесклинкерного вяжущего и формирование его плотной структуры при содержании бентонита 9 % по массе. Это изменение структуры хорошо коррелирует с изменением прочностных характеристик вяжущего: прочности на сжатие, водопоглощением и коэффициентом размягчения.

Результаты исследования подтвердили новые возможности щелочной активации отходов цементной промышленности в комплексе с местной бентонитовой глиной, полученные характеристики и зависимости позволят применять предлагаемую технологию в строительстве.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Lopez F.J., Sugita S., Tagaya M., Kobayashi T. Metakaolin-based geopolymers for targeted adsorbents to heavy metal ion separation // Journal of Materials Science and Chemical Engineering. 2014. Vol. 02. Issue 07. Pp. 16–27. DOI: 10.4236/msce.2014.27002
2. Саламанова М.Ш., Муртазаев С.-А.Ю., Нахаев М.Р. Возможные пути альтернативного решения проблем в цементной индустрии // Строительные материалы. 2020. № 1–2. С. 73–77. DOI: 10.31659/0585-430X-2020-778-1-2-73-77
3. Chen L., Wang Z., Wang Y., Feng J. Preparation and properties of alkali activated metakaolin-based geopolymer // Materials. 2016. Vol. 9. Issue 9. P. 767. DOI: 10.3390/ma9090767
4. Zhang Z., Provis J.L., Zou J., Reid A., Wang H. Toward an indexing approach to evaluate fly ashes for geopolymer manufacture // Cement and Concrete Research. 2016. Vol. 85. Pp. 163–173. DOI: 10.1016/j.cemconres.2016.04.007
5. Рахимова Н.Р. Состояние и перспективные направления развития исследований и производства композиционных шлакощелочных вяжущих, растворов и бетонов // Строительные материалы. 2008. № 9. С. 77–80.
6. Hardjito D., Wallah S., Sumajouw D., Rangan B. On the development of fly ash-based geopolymer concrete // ACI Materials Journal. 2004. Vol. 101. Issue 6. Pp. 467–472. DOI: 10.14359/13485
7. Davidovitz J. Geopolymer. Chemistry and applications. Saint-Quentin : Institute Geopolymer, 2008. 592 p.
8. Nuruddin M., Demie S., Ahmed M., Shafiq N. Effect of superplasticizer and NaOH molarity on workability, compressive strength and microstructure properties of self-compacting geopolymer concrete // World Academy of Science, Engineering and Technology. 2011. Vol. 75. Pp. 908–914.
9. Alex T.C., Kalinkin A.M., Nath S.K., Gurevich B.I., Kalinkina E.V., Tyukavkina V.V. et al. Utilization of zinc slag through geopolymerization: influence of milling atmosphere // International Journal of Mineral Processing. 2013. Vol. 123. Pp. 102–107. DOI: 10.1016/j.minpro.2013.06.001
10. Villa C., Pecina E.T., Torres R., Gomez L. Geopolymer synthesis using alkaline activation of natural zeolite // Construction and Building Materials. 2010. Vol. 24. Issue 11. Pp. 2084–2090. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2010.04.052
11. Рахимова Н.Р., Рахимов П.З. Композиционные шлакощелочные вяжущие с минеральными добавками различного типа активности // Вестник Волжского регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. 2013. № 16. С. 204–216.
12. Salamanova M.Sh., Mintsaev M.Sh., Murtazaev S.-A.Yu., Bisultanov R.G. Fine-grained concretes with clinker-free binders on an alkali gauging // Proceedings of the International Symposium “Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research” dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019). 2019. DOI: 10.2991/isees-19.2019.98
13. Bataev D.K.-S., Salamanova M.Sh., Murtazaev S.-A.Yu., Viskhanov S.S. Utilization of Cement Kiln Dust in Production of Alkali-Activated Clinker-Free Binders // Proceedings of the International Symposium “Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research” dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019). 2019. DOI: 10.2991/isees-19.2019.89
14. Рахимова Н.Р., Рахимов П.З. Механизм отверждения боратных солевых растворов шлакощелочными вяжущими // Цемент и его применение. 2016. № 3. С. 96–99.
15. Dombrowski K., Buchwald A., Weil M. The influence of calcium content on the structure and thermal performance of fly ash based geopolymers // Journal of Materials Science. 2007. Vol. 42. Issue 9. Pp. 3033–3043. DOI: 10.1007/s10853-006-0532-7
16. Pawlasova S., Skvara F. High-temperature properties of geopolymer materials // Alkali Activated Materials. 2008. Pp. 523–525.
17. Khater H.M., Abd El Gawwad H.A. Effect of firing temperatures on alkali activated Geopolymer mortar doped with MWCNT // Advances in Nano Research. 2015. Vol. 3. Issue 4. Pp. 225–242. DOI: 10.12989/anr.2015.3.4.225
18. Khater H.M., El Nagar A.M., Ezzat M. Optimization of alkali activated grog/ceramic wastes geopolymer bricks // International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. 2016. Vol. 5. Issue 1. Pp. 37–46. DOI: 10.15680/IJRSET.2015.0501005
19. Nagajothi S., Elavenil S. Strength assessment of geopolymer concrete using M-sand // International Journal of Chemical Sciences. 2016. Vol. 14. Pp. 115–126.

20. Amer I., Kohail M., El-Feky M.S., Rashad A., Khalaf M.A. A Review on alkali-activated slag concrete // Ain Shams Engineering Journal. 2021. Vol. 12. Issue 2. Pp. 1475–1499. DOI: 10.1016/j.asej.2020.12.003

Поступила в редакцию 10 марта 2022 г.

Принята в доработанном виде 28 июля 2022 г.

Одобрена для публикации 28 июля 2022 г.

ОБ АВТОРАХ: **Мадина Шахидовна Саламанова** — кандидат технических наук, доцент, директор Научно-технического центра коллективного пользования «Современные строительные материалы и технологии»; **Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова (ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова)**; 364051, г. Грозный, Чеченская Республика, пр-т Хусейна Исаева, д. 100; **Комплексный научно-исследовательский институт имени Х.И. Ибрагимова Российской академии наук**; 364051, г. Грозный, ул. В. Алиева, д. 21 а; SPIN-код: 614-9180, Scopus: 57192895779, ResearcherID: ABF-7578-2020, ORCID: 0000-0002-1293-7090; madina_salamanova@mail.ru;

Зураб Шарудиевич Гацаев — научный сотрудник Научно-исследовательского центра коллективного пользования «Нанотехнологии и наноматериалы»; **Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова (ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова)**; 364051, г. Грозный, Чеченская Республика, пр-т Хусейна Исаева, д. 100; **Комплексный научно-исследовательский институт имени Х.И. Ибрагимова Российской академии наук**; 364051, г. Грозный, ул. В. Алиева, д. 21 а; SPIN-код: 8223-9807, Scopus: 57222478003, ResearcherID: AGN-5158-2022; gacaev_195@mail.ru;

Вячеслав Валерьевич Сызранцев — кандидат физико-математических наук, директор Научно-исследовательского центра коллективного пользования «Нанотехнологии и наноматериалы»; **Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова (ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова)**; 364051, г. Грозный, Чеченская Республика, пр-т Хусейна Исаева, д. 100; SPIN-код: 4028-4479, Scopus: 6507778874, ResearcherID: Y-4507-2019, ORCID: 0000-0001-5388-8224; vvveliga@mail.ru.

Вклад авторов:

Саламанова М.Ш. — научное руководство, концепция исследования, научное редактирование, итоговые выводы.

Гацаев З.Ш. — сбор материала, обработка результатов, написание исходного текста.

Сызранцев В.В. — сбор материала, обработка результатов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

- Lopez F.J., Sugita S., Tagaya M., Kobayashi T. Metakaolin-based geopolymers for targeted adsorbents to heavy metal ion separation. *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*. 2014; 02(07):16-27. DOI: 10.4236/msce.2014.27002
- Salamanova M.Sh., Murtazaev S.-A.Yu., Nakhkaev M.R. Possible alternative solutions to problems in the cement industry. *Construction Materials*. 2020; 1-2:73-77. DOI: 10.31659/0585-430X-2020-778-1-2-73-77 (rus.).
- Chen L., Wang Z., Wang Y., Feng J. Preparation and properties of alkali activated metakaolin-based geopolymer. *Materials*. 2016; 9(9):767. DOI: 10.3390/ma9090767
- Zhang Z., Provis J.L., Zou J., Reid A., Wang H. Toward an indexing approach to evaluate fly ashes for geopolymer manufacture. *Cement and Concrete Research*. 2016; 85:163-173. DOI: 10.1016/j.cemconres.2016.04.007
- Rakhimova N.R. State and promising directions of development of research and production of composite slag-alkaline binders, mortars and concretes. *Construction Materials*. 2008; 9:77-80. (rus.).
- Hardjito D., Wallah S., Sumajouw D., Rangan B. On the development of fly ash-based geopolymer concrete. *ACI Materials Journal*. 2004; 101(6):467-472. DOI: 10.14359/13485
- Davidovitz J. *Geopolymer: Chemistry and applications*. Saint-Quentin, Institute Geopolymer, 2008; 592.
- Nuruddin M., Demie S., Ahmed M., Shafiq N. Effect of superplasticizer and naoh molarity on workability, compressive strength and microstructure properties of self-compacting geopolymer concrete. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. 2011; 75:908-914.
- Alex T.C., Kalinkin A.M., Nath S.K., Gurevich B.I., Kalinkina E.V., Tyukavkina V.V. et al. Utilization of zinc slag through geopolymerization: influence of milling atmosphere. *International Journal of Mineral Processing*. 2013; 123:102-107. DOI: 10.1016/j.minpro.2013.06.001
- Villa C., Pecina E.T., Torres R., Gomez L. Geopolymer synthesis using alkaline activation of natural zeolite. *Construction and Building Materials*. 2010; 24(11):2084-2090. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2010.04.052

11. Rakhimova N.R., Rakhimov R.Z. Composite slag-alkali binders with mineral additives of various types of activity. *Bulletin of the Volga Regional Branch of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences*. 2013; 16:204-216. (rus.).

12. Salamanova M.Sh., Mintsaeв M.Sh., Mur-tazaev S.-A.Yu., Bisultanov R.G. Fine-Grained Concretes with Clinker-Free Binders on an Alkali Gauging. *Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019)*. 2019. DOI: 10.2991/isees-19.2019.98

13. Bataev D.K.-S., Salamanova M.Sh., Murtazaev S.-A.Yu., Viskhanov S.S. Utilization of Cement Kiln Dust in Production of Alkali-Activated Clinker-Free Binders. *Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019)*. 2019. DOI: 10.2991/isees-19.2019.89

14. Rakhimova N.R., Rakhimov R.Z. Mechanism of solidification of borate salt solutions with slag-alkaline binders. *Journal Cement and its Applications*. 2016; 3:96-99. (rus.).

15. Dombrowski K., Buchwald A., Weil M. The Influence of Calcium Content on the Structure and thermal performance of fly ash based geopolymers. *Journal of Materials Science*. 2007; 42(9):3033-3043. DOI: 10.1007/s10853-006-0532-7

16. Pawlasova S., Skvara F. High-Temperature properties of geopolymer materials. *Alkali Activated Materials*. 2008; 523-525.

17. Khater H.M., Abd El Gawwad H.A. Effect of firing temperatures on alkali activated Geopolymer mortar doped with MWCNT. *Advances in nano research*. 2015; 3(4):225-242. DOI: 10.12989/anr.2015.3.4.225

18. Khater H.M., El Nagar A.M., Ezzat M. Optimization of alkali activated grog/ceramic wastes geopolymer bricks. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. 2016; 5(1):37-46. DOI: 10.15680/IJRSET.2015.0501005

19. Nagajothi S., Elavenil S. Strength assessment of geopolymer concrete using M-sand. *International Journal of Chemical Sciences*. 2016; 14:115-126.

20. Amer I., Kohail M., El-Feky M.S., Rashad A., Khalaf M.A. A review on alkali-activated slag concrete. *Ain Shams Engineering Journal*. 2021; 12(2):1475-1499. DOI: 10.1016/j.asej.2020.12.003

Received March 10, 2022.

Adopted in revised form on July 28, 2022.

Approved for publication on July 28, 2022.

B I O N O T E S: **Madina Sh. Salamanova** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Director of the Scientific and Technical Center for Collective Use "Modern Building Materials and Technologies"; **Grozny State Oil Technical University named after academician M.D. Millionshchikov (GSOTU named after academician M.D. Millionshchikov)**; 100 Isaev avenue, Grozny, 364051, Russian Federation; **Complex Research Institute named after Kh.I. Ibragimov of the Russian Academy of Sciences**; 21 a Alieva st., Grozny, 364051, Russian Federation; SPIN-code: 614-9180, Scopus: 57192895779, ResearcherID: ABF-7578-2020, ORCID: 0000-0002-1293-7090; madina_salamanova@mail.ru;

Zurab Sh. Gatsaev — Researcher at the Research center for Collective Use "Nanotechnologies and Nanomaterials"; **Grozny State Oil Technical University named after academician M.D. Millionshchikov (GSOTU named after academician M.D. Millionshchikov)**; 100 Isaev avenue, Grozny, 364051, Russian Federation; **Complex Research Institute named after Kh.I. Ibragimov of the Russian Academy of Sciences**; 21 a Alieva st., Grozny, 364051, Russian Federation; SPIN-code: 8223-9807, Scopus: 57222478003, ResearcherID: AGN-5158-2022; gacaev_195@mail.ru;

Vyacheslav V. Syzrantsev — Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Director of the Research Center for Collective Use "Nanotechnologies and Nanomaterials"; **Grozny State Oil Technical University named after academician M.D. Millionshchikov (GSOTU named after academician M.D. Millionshchikov)**; 100 Isaev avenue, Grozny, 364051, Russian Federation; SPIN-code: 4028-4479, Scopus: 6507778874, ResearcherID: Y-4507-2019, ORCID: 0000-0001-5388-8224; vvveliga@mail.ru.

Contribution of the authors:

Madina Sh. Salamanova — scientific guidance, conceptual studies, scientific editing, capture results.

Zurab Sh. Gatsaev — material assembly, processing results, writing original text.

Vyacheslav V. Syzrantsev — material assembly, processing results.

The authors declare no conflict of interest.

БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА

ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ / REVIEW PAPER

УДК 504

DOI: 10.22227/1997-0935.2022.8.1027-1045

Методы расчета рассеивания загрязняющих веществ в городской атмосфере

Елена Владимировна Сысоева, Маргарита Олеговна Гельманова

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Важной особенностью городской экологии является запыленность воздуха опасными для здоровья горожан мелкодисперсными частицами $PM_{2,5}$, образующимися при транспортном движении. Цель исследования — провести сравнительный анализ методов и методик расчета рассеивания загрязняющих веществ (ЗВ) (в общем виде и применительно к $PM_{2,5}$) в городской атмосфере, базирующихся на гауссовых моделях, имитационных моделях, моделях с уравнениями в частных производных и статистических моделях.

Материалы и методы. Применены аналитическое обобщение и систематизация опыта отечественных и зарубежных исследований, изложенных в научно-исследовательской литературе.

Результаты. Сравнительный анализ показал, что в большей части рассмотренных методов и методик при расчете дисперсии загрязнителей учитываются только параметры источника загрязнения, что позволяет подобрать его правильное расположение и мощность. Однако при всех достоинствах во всех методах и методиках не учитывается озеленение в пределах города, которое по последним научным исследованиям оказывает существенное влияние на снижение загрязнения городского воздуха, в том числе и в отношении частиц $PM_{2,5}$.

Выводы. Следующим шагом на пути развития расчетных методов и методик рассеивания ЗВ в городской атмосфере в целях обеспечения экологической безопасности городской среды является разработка методики, позволяющей при расчете концентрации ЗВ учитывать пылепоглотельную способность насаждений в отношении частиц $PM_{2,5}$ и сорбционные свойства лиственной поверхности деревьев и кустарников на территории исследования. Данная методика может обусловить размещение объектов озеленения (деревьев, кустарников), газонного городского озеленения и озеленения крыш и стилобатов жилых и общественных зданий для снижения $PM_{2,5}$.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: методы расчета, рассеивание загрязняющих веществ, загрязнение воздуха, выбросы автотранспорта, мелкодисперсные частицы $PM_{2,5}$, озеленение городских территорий, экологическая безопасность городской среды

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Сысоева Е.В., Гельманова М.О. Методы расчета рассеивания загрязняющих веществ в городской атмосфере // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 8. С. 1027–1045. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.8.1027-1045

Автор, ответственный за переписку: Елена Владимировна Сысоева, SysoevaEV@mgsu.ru.

Methods for calculating the pollutants dispersion in the urban atmosphere

Elena V. Sysoeva, Margarita O. Gelmanova

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

ABSTRACT

Introduction. The important peculiarity of urban ecology is air dusting with pollutants $PM_{2,5}$ formed in traffic dangerous for health of city-dwellers. The work aim is the comparative analysis of methods and techniques of pollutants dispersion calculation (in general and as applied to $PM_{2,5}$) in the city atmosphere, based on the Gaussian models, simulation models, models with partial derivative equations and statistical models.

Materials and methods. Analytical generalization and systematization of the experience of domestic and foreign studies set forth in the research literature were applied.

Results. Comparative analysis showed that most of the reviewed methods and techniques in the calculation of the pollutants dispersion takes into account only the parameters of the pollution source, which makes it possible to choose the correct location and capacity. However, for all the merits of all the methods and techniques do not take into account landscaping within the city, which according to recent research has a significant impact on reducing urban air pollution, including in relation to particles $PM_{2,5}$.

Conclusions. The next step towards the development of calculation methods and techniques for the dispersion of pollutants in the urban atmosphere in order to ensure the environmental safety of the urban environment is the development of a methodology that allows for the calculation of the concentration of pollutants to take into account the dust absorption

capacity of plantings with respect to $PM_{2.5}$ particles and sorption properties of the deciduous surface of trees and shrubs in the study area. This technique can determine the placement of landscaping objects (trees, shrubs), lawn urban landscaping and landscaping of roofs and stylobates of residential and public buildings in order to reduce $PM_{2.5}$.

KEYWORDS: calculation methods, pollutants dispersion, air pollution, motor vehicle emissions, fine particulate matter $PM_{2.5}$, urban greening, environmental safety of the urban environment

FOR CITATION: Sysoeva E.V., Gelmanova M.O. Methods for calculating the pollutants dispersion in the urban atmosphere. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2022; 17(8):1027-1045. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.8.1027-1045 (rus.).

Corresponding author: Elena V. Sysoeva, SysoevaEV@mgsu.ru.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время городская среда является местом проживания для большей части населения как мира в целом (рис. 1), так и России в частности (рис. 2), поэтому проблеме экологии городских территорий и ее влиянию на здоровье граждан в краткосрочной и долгосрочной перспективе должно уделяться особенное внимание.

Одна из наиболее важных особенностей городской экологии — запыленность воздушной среды [1]. Главными источниками пылевого загрязнения выступают автотранспортные средства [2–4] и деятельность промышленных предприятий [5]. Большая удельная площадь искусственных поверхностей (асфальт, бетон и т.д.) и малая площадь зеленых насаждений сводят к минимуму возможность городской среды сопротивляться распространению загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосфере. Эти факторы приводят к тому, что городское население постоянно живет в условиях повышенного содержания вредных веществ (ВВ) в воздухе. Типичным для города ЗВ служит мелкодисперсная пыль, представляющая большую опасность для здоровья населения [6–10]. Так, по оценкам ВОЗ, увеличение среднегодовых концентраций частиц $PM_{2.5}$ с 10 до 35 $мкг/м^3$ ведет к повышению риска смертности в долгосрочной перспективе на 15 %⁴. Также существует значительное количество научных исследований, подтверждающих негативное воздействие $PM_{2.5}$ на заболеваемость сердечно-сосудистыми болезнями [11]; респираторными, в том числе и вызванными вирусом SARS-CoV-2 [12]; онкологическими. В связи с этим стоит уделить особое внимание существующим на данный момент методам и методикам расчета рассеивания мелкодисперсной пыли в городской атмосфере, которые позволяют более рационально планировать городскую территорию с точки зрения качества атмосферного воздуха для регулирования экологической безопасности городской атмосферы.

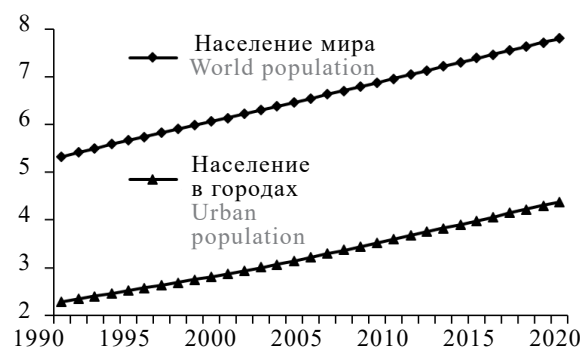


Рис. 1. Рост численности населения мира и населения в городах в период 1990–2020 гг., млрд чел.^{1,2}

Fig. 1. An increase in the world population and urban population in 1990–2020, billion people^{1,2}

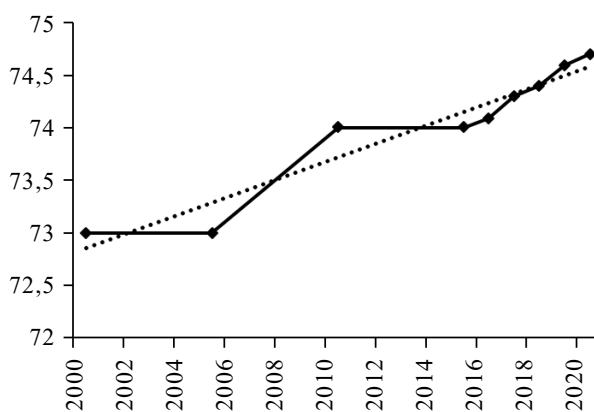


Рис. 2. Доля городского населения РФ в период 2000–2020 гг. в общей численности населения на 1 января 2020 г., %³

Fig. 2. The share of urban population in the Russian Federation in 2000–2020 in the total population as of January 1, 2020, %³

На пылевое загрязнение воздуха городской среды влияют следующие факторы, которые могут быть отображены в методике расчета рассеивания $PM_{2.5}$:

¹ Department of Economic and Social Affairs/Population Division. URL: <https://population.un.org/wpp/>

² Worldometers. URL: <https://www.Worldometers.info>

³ Доля городского населения в общей численности населения на 1 января. URL: <https://showdata.gks.ru/report/278932/>

⁴ Рекомендации ВОЗ по качеству воздуха, касающиеся твердых частиц, озона, двуокиси азота и двуокиси серы. URL: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69477/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_rus.pdf?sequence=4

1) параметры источников загрязнения (количество источников выбросов, их мощность, тип, расположение в городской застройке и т.д.);

2) параметры городской территории (этажность и геометрия застройки, ориентация улиц, площадь озелененной территории);

3) климатические параметры (влажность воздуха, скорость и направление ветра, среднегодовое количество осадков, продолжительность солнечного сияния).

Необходимо отметить, что из вышеуказанных только первый и второй факторы поддаются контролю на этапах формирования и преобразования города, и лишь их совместное взаимосвязанное рассмотрение может привести к формированию экологически безопасной среды. Это свидетельствует о том, что городская территория должна быть адаптирована к имеющимся в ней негативным нагрузкам.

Многие современные исследования посвящены вопросам благоустройства и озеленения городских территорий, как важному механизму оздоровления городской среды [13]. Городское озеленение способно существенно улучшить качество воздуха путем снижения концентрации мелкодисперсных частиц $PM_{2,5}$ [14–26].

В проведенной китайскими учеными научной работе выявлена взаимосвязь концентрации $PM_{2,5}$ с метеорологическими, растительными и топографическими факторами [27]. Было установлено значительное снижение концентрации $PM_{2,5}$ (на 18,78 %) в регионах с хвойными лесами. Результаты показали, что относительная влажность, давление воздуха и давление водяного пара положительно коррелировали с $PM_{2,5}$, в то время как температура воздуха и скорость ветра отрицательно коррелировали друг с другом. Однако в публикации [28] авторы пришли к выводу, что снижение $PM_{2,5}$ значительно меньше при слабом ветре, концентрация $PM_{2,5}$ положительно коррелирует со скоростью ветра.

В труде [29] приведена оценка осаждения $PM_{2,5}$ на поверхности листьев деревьев различных пород, на величину осаждения $PM_{2,5}$ повлияли количество и плотность расположения деревьев, разнообразие пород деревьев, средняя высота, ширина кроны. К подобным результатам пришли и ученые [30], которые проанализировали образцы листьев 12 пород деревьев, собранных в городском парке промышленного города. Анализ показал различия в осаждении мелкодисперсных частиц в зависимости от породы деревьев. Наличие деревьев в городской среде может привести к обратным эффектам: густые кроны деревьев подавляют рассеивание загрязнителей в воздухе, что ведет к увеличению локализованных концентраций ЗВ [31]. Данные отличия обосновываются различными подходами: результаты библиометрического анализа, где рассматривается снижение загрязнителя вслед-

ствие осаждения на поверхности растительности, и анализа, основанного на снижении загрязнителя вследствие рассеивания, зачастую дают неоднозначную оценку. Баланс между процессами рассеивания и осаждения загрязняющих веществ меняется в зависимости от пространственного масштаба, характеристик трехмерных объектов озеленения (например, плотности кроны, густоты посадки), некоторых метеорологических условий и является важным фактором, определяющим роль растительности в улучшении качества воздуха. Авторы статьи [32] выдвигают положение о том, что анализ влияния объектов озеленения на снижение РМ следует проводить в трех масштабах, включая масштаб дерева, совокупности деревьев и регионального масштаба. Анализы в разных масштабах показали, что роль озеленения в отношении РМ нельзя просто считать положительной или отрицательной, поскольку их необходимо учитывать путем сочетания различных факторов (например, видов растений, метеорологических условий и городского планирования и проектирования) в разных масштабах. Таким образом, многомасштабный анализ воздействия атмосферных частиц мог бы помочь лучше понять роль городских лесов как сложной системы и заложить основу для будущих исследований. В работе [33] рассматривается создание зеленого пояса вдоль дорог в качестве эффективного метода по снижению $PM_{2,5}$, образованных в результате дорожного движения. Результаты продемонстрировали значительное влияние скорости ветра (54,2 %), потока транспортных средств (27,7 %), температуры воздуха (14,2 %) и фактора времени (7,6 %) на снижение $PM_{2,5}$. Обосновывается важность посадки объектов озеленения на высоте дыхания человека (1,5 м) в уличных каньонах.

Исследования по влиянию озеленения, находящегося в пределах городских территорий, на снижение мелкодисперсных частиц $PM_{2,5}$ должны найти отражение в методах и методиках расчета по рассеиванию этих частиц.

В настоящее время существует несколько десятков методов и методик расчета рассеивания ЗВ от различных источников, которые рассмотрены далее в настоящей статье. Некоторые из них предназначены для выполнения расчета рассеивания ЗВ исключительно для конкретного типа ЗВ, другие подходят для расчета рассеивания нескольких типов ЗВ: для газов и аэрозолей (жидких и твердых взвешенных в воздухе частиц различного диаметра).

В работе приводится сравнительный анализ методов и методик расчета рассеивания мелкодисперсной пыли в воздушной среде города. Следует отметить, что особенный интерес представляет учет фактора пылепоглощительной способности насаждений на снижение концентрации $PM_{2,5}$ в пределах городских территорий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Применены методы: аналитическое обобщение и систематизация опыта отечественных и зарубежных ученых, изложенных в научно-исследовательской литературе.

Для выполнения расчета рассеивания мелкодисперсных частиц пыли $PM_{2,5}$ существует несколько моделей, позволяющих рассчитывать концентрации $PM_{2,5}$ от стационарных и нестационарных источников. В зависимости от подхода к расчету рассеивания $PM_{2,5}$ в воздушной среде эти модели можно подразделить на группы: модели на основе распределения Гаусса, имитационные модели, модели с уравнениями в частных производных и статистические модели. Следует отметить, что более современными являются статистические модели.

Модели на основе распределения Гаусса

Модели на основе распределения Гаусса — наиболее распространенные методы расчета загрязнения воздуха благодаря невысоким вычислительным затратам. В основе таких моделей лежит нормальное (Гауссово) распределение ЗВ в воздушной среде, полученное из уравнения турбулентной диффузии путем введения следующих упрощений:

- параметры источника выбросов — стационарные;
- поле скоростей ветра — однородное (одинаковая и постоянная скорость движения воздушного потока);
- коэффициенты диффузии не зависят от координат;
- диффузия в направлении скорости ветра мала по сравнению со средней скоростью переноса вещества.

Модели на основе распределения Гаусса, как правило, разрабатывались в конце XX в. за рубежом (например, американские модели CAL3QHC⁵, ISC3⁶, HIWAY 2, CALINE4 (California Line Source Model), GM (General Motors), GFLSM (General Finite Line Source Model); финская модель CAR-FMI (Contaminants in the Air from a road, by the Finnish Meteorological Institute) [34] и т.д.). Почти все эти модели используются для расчета линейных источников загрязнения, таких как автомобильные дороги, так как любой линейный источник можно представить в виде большого количества точечных элементов, и суммирования концентрации ЗВ, полученной от каждого из них.

В работе [35] представлен алгоритм, который использует стандартную модель на основе распределения Гаусса. В методике, рассмотренной в публикации [36], расчет рассеивания ЗВ производится

с учетом различных положений источников выбросов и направлений ветра.

Несмотря на многие преимущества моделей на основе распределения Гаусса, в них существуют недостатки, которые ограничивают применение такой модели:

- отсутствие учета рельефа поверхности (поверхность представляется абсолютно плоской);
- стационарные метеорологические условия и однородность метеорологических параметров (постоянная скорость ветра, постоянные коэффициенты турбулентной диффузии, отсутствие учета структуры различных слоев атмосферы);
- стационарный характер источника выбросов (не подходит для расчета рассеивания концентраций ЗВ, образующихся от периодически работающих источников ЗВ).

Имитационные модели

Группа имитационных моделей представляет собой модели, использующие аналитические решения уравнений движения ЗВ в атмосфере. Как правило, для таких моделей применяется уравнение турбулентной диффузии.

К этой группе относится законодательно закрепленная в РФ методика, вступившая в силу по приказу Минприроды России от 06.06.2017 № 273 «Об утверждении методов расчета рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе», подлежащая применению с 01.01.2018 (далее — МРР-2018). Методика базируется на решении уравнения атмосферной диффузии с введением ряда упрощений. Путем его интегрирования получают аналитическое выражение для расчета максимальной приземной концентрации ЗВ. Данное аналитическое решение, аппроксимированное для удобства использования в практических расчетах, и применяется в методике МРР-2018. Эта методика позволяет рассчитать максимальные разовые и средние долгопериодные концентрации различных ЗВ (в том числе и $PM_{2,5}$) от точечных, линейных, площадных и объемных источников загрязнения. Центральное место в методике занимает принцип суперпозиции, согласно которому концентрация ЗВ от совокупности источников равняется сумме концентраций ЗВ от каждого из источников в отдельности:

$$c(I_1 + I_2 + \dots + I_n) = c(I_1) + c(I_2) + \dots + c(I_n). \quad (1)$$

При этом линейные, площадные и объемные источники рассматриваются как совокупность точечных.

⁵User's guide for CAL3QHC Version 2: A Modeling methodology for predicting pollutant concentrations near roadway intersections. EPA-454/R-92-006. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina, 1992.

⁶User's guide for the Industrial Source Complex (ISC3) dispersion models. Volume II – description of model algorithms. EPA-454/B-95-003b. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina, 1995.

MPP-2018 позволяет также учесть влияние рельефа местности и расположенных на ней зданий на концентрацию загрязняющих веществ. Это влияние описывается коэффициентами, на которые умножаются результаты расчета концентраций ЗВ, определенные без учета рельефа и застройки. Тем не менее методика не учитывает воздействие целого ряда факторов на рассеивание частиц $PM_{2,5}$, таких как влажность воздуха, которая увеличивает скорость оседания мелкодисперсных частиц, и наличие объектов озеленения, способных захватывать и удерживать мелкодисперсные частицы.

Авторами исследования [37] была разработана методика прогнозирования экстремального загрязнения воздуха на автомагистралях и в их окрестностях мелкодисперсными взвешенными частицами PM_{10} и $PM_{2,5}$. Расчет распространения ЗВ от автомобильной дороги также проводился с применением уравнения турбулентной диффузии. Главным достоинством указанной работы является всестороннее описание (качественное и количественное) процесса образования PM_{10} и $PM_{2,5}$ на автотранспортных магистралях с учетом не только мелкодисперсных частиц, образовавшихся вследствие выбросов автотранспортных средств, но и частиц, появившихся в результате стирания тормозных колодок автомобилей, износа шин и самого дорожного полотна, а также с учетом процесса ресуспензии дорожной пыли.

Другим примером имитационной модели служит работа [38], где рассмотрена постановка и приведено приближенное решение пространственной задачи о переносе и рассеивании легких и тяжелых примесей от движущихся автомобилей, случайный поток которых считается пуассоновским процессом. Эта методика также основана на аналитическом решении уравнения турбулентной диффузии только в более общем, нестационарном виде. Полученное решение дает возможность рассчитать концентрации ЗВ от каждого автомобиля, находящегося на трассе, в отдельности (как для точечного источника ЗВ), концентрация ЗВ от всей автотрассы рассчитывается как сумма концентраций ЗВ от единичных автотранспортных средств. Появление машин в начале рассматриваемого участка трассы считается случайным, вследствие чего этот характер приобретают концентрации ЗВ каждого автотранспортного средства. В методике даны уравнения, позволяющие рассчитать математическое ожидание и дисперсию концентрации ЗВ в любой точке пространства при различных направлениях, скорости ветра и интенсивности дорожного движения.

Разработана математическая модель распределения ЗВ, образующихся в результате транспортного движения, которая позволяет определить концентрацию ЗВ на расстоянии от дороги при помощи экспериментально измеряемых величин: плотности автомобильного потока, средней скоро-

сти движения автомобильного потока на 1 км, ширины магистрали и концентрации ЗВ на границе между проезжей частью дороги и тротуаром [39]. Модель подходит для расчета концентраций $PM_{2,5}$ для городской среды.

В работах [40–42] применяется еще один подход, используемый для описания движения мелкодисперсных частиц. Рассматривается уравнение движения отдельной частицы в пылевом облаке, что дает возможность установить траекторию частицы в зависимости от ее диаметра, плотности, вязкости и скорости ветра.

С помощью этого подхода в труде [40] описывается процесс осаждения облака частиц при его движении от горнодобывающего каньона. Полученные аналитическим образом уравнения показали, что твердые частицы большего размера осаждаются ближе к источнику выбросов, в то время как меньшие осаждаются дальше всего и перемещаются на значительное расстояние. Эти результаты были подтверждены экспериментальными исследованиями.

Авторами исследования [41] анализируется данный подход в совмещении с описанием нестационарного поля скоростей ветра. При этом движение частиц рассматривается под действием пульсирующего воздушного потока, а полученные уравнения позволяют более точно рассчитать дальность оседания частиц различного размера, испускаемых точечным стационарным источником загрязнения.

Изучению движения твердых частиц при их отрыве от поверхности земли под воздействием ветра посвящена публикация [42]. Приведенные в ней уравнения могут быть полезны при описании вторичных источников образования твердых частиц, таких как ресуспензия дорожной пыли или ветровая эрозия почвы. Главными упрощениями, принятыми в рассматриваемых работах, являются однородное поле скоростей ветра, в котором описано движение твердых частиц, а также отсутствие каких-либо препятствий на их пути, что лишь в некоторых случаях соответствует действительности.

Модели с уравнениями в частных производных

Данные модели используют сложные дифференциальные уравнения движения воздушной среды (уравнения Навье – Стокса) совместно с уравнениями диффузии и перемещения ЗВ в воздушном потоке. Система может дополняться уравнениями теплового баланса; уравнениями, описывающими химические реакции рассеянных в воздухе веществ; уравнениями, описывающими движение частиц, находящихся в воздухе в жидком состоянии, и т.д. Эта группа моделей позволяет наиболее полно и точно описать все процессы, происходящие в воздушной среде. Главным недостатком таких моделей является их сложность и потребность

в больших вычислительных мощностях, так как входящие в их состав уравнения возможно решить только численным путем (методом конечных элементов, методом конечных объемов и т.д.). Из указанной группы для настоящего исследования особый интерес представляет работа [43], в которой была построена математическая модель взаимодействия растительности с двухфазными газодинамическими потоками на основании уравнений газовой динамики, а также создана численная методика, алгоритмы и компьютерные программы для изучения распространения пылевых загрязнений в лесных массивах с различными геометрическими характеристиками, конфигурацией посадки и разновидностями деревьев.

Элементы лесного массива моделировались как пористые тела, создающие силу сопротивления при движении ветрового потока. Модель помимо взаимодействия ветрового потока с элементами озеленения учитывает и процесс осаждения твердых частиц на поверхность кроны деревьев. На основе модели была разработана программа численного расчета.

Статистические модели

Статистические модели находят применение в последние десятилетия. Они описывают закономерности, исходя из большого количества информации. Как правило, к статистическим моделям расчета концентрации ЗВ относятся модели, базирующиеся на статистической обработке метеорологических данных и результатов натурных наблюдений. К методикам, основанным на этом подходе, относятся работы [44–46].

В труде [44] выполнена разработка и анализ регрессионных картографических моделей для описания пространственного распределения ЗВ в воздушной среде на основе географических и экспериментальных сведений о загрязнении воздуха. Модели предназначены для построения карты загрязнения исследуемой территории и оценки вредного воздействия ЗВ на население. Модель может применяться для расчета распространения взвешенных в воздухе частиц различного диаметра, в том числе $PM_{2,5}$, на территории городской застройки. Методика базируется на новом методе регрессионной картографии, в котором для оценки уровня загрязнения воздушной среды не требуется решение сложных дифференциальных уравнений. Однако модель не подходит для прогнозирования изменения уровня загрязнения атмосферы города при изменении пропорций городского озеленения.

Исследованию динамики изменения концентрации мелкодисперсной пыли вблизи основных магистралей г. Волгоград посвящена публикация [45]. Главная идея заключается в том, что результаты измерения концентрации взвешенных в воздухе твердых частиц можно рассматривать как случайные величины и анализировать их методами математи-

ческой статистики. В работе были найдены статистические зависимости между концентрациями частиц PM_{10} и такими факторами, как скорость ветра, относительная влажность воздуха, а также интенсивность транспортного движения. Представлена методика, позволяющая рассчитать среднее число и длительность превышений предельно-допустимой концентрации (ПДК) по пылевому загрязнению. Тем не менее в данном исследовании пылевое загрязнение рассматривается исключительно на придорожных участках на расстоянии до 10 м от дороги, т.е. не описывается рассеивание твердых частиц вглубь жилой застройки и не учитывается наличие озеленения, главное внимание уделяется частицам PM_{10} , а не содержащимся в них более легким (что влияет на характер рассеивания) и более опасным для здоровья жителей города мелкодисперсным частицам $PM_{2,5}$.

Разработанная упрощенная математическая модель по оценке загрязнения атмосферы на основе балансного метода поступления ЗВ в городские районы приведена в исследовании [46]. Для каждого из районов города суммарное количество ВВ, находящееся в воздушной среде района, складывается из выброса источников загрязнения, расположенных в пределах этого района, и объема ВВ, приносимого в него ветром из других районов города. Статистическая обработка данных о скорости и направлении господствующего ветра позволила оценить итоговое влияние такого взаимобмена загрязненным воздухом в долгосрочной перспективе для каждого из городских районов и разработать критерии их экологического благополучия. Методика используется для крупномасштабной оценки экологических последствий при размещении новых производственных комплексов на территории города, и не рассматривает локальный характер рассеивания и оседания тех или иных ЗВ, и как следствие, не может использоваться для расчета ожидаемых концентраций ЗВ в различных районах городской застройки.

В работе [47] рассмотрена плотность городской застройки как один из факторов, влияющих на концентрацию мелкодисперсных частиц в атмосфере. Было предложено разделять территорию города на квазиоднородные зоны с одинаковыми значениями коэффициента плотности застройки. На основе натуральных замеров, проводимых в Красноармейском районе г. Волгограда с 2013–2017 гг., методами многофакторного регрессионного анализа получено выражение, отражающее зависимость концентрации мелкодисперсных частиц от гидрометеорологических параметров и плотности застройки:

$$C = 1,801 - 0,004T + 0,058W - 0,198V - 0,0002K_n + 0,15P, \quad (2)$$

где C — концентрация мелкодисперсных частиц, mg/m^3 ; T — температура воздуха, $^{\circ}C$; W — влаж-

ность воздуха, %; V — скорость ветра, м/с; K_n — коэффициент плотности застройки (безразмерная величина); P — удельная нагрузка загрязнения пылью атмосферы рассматриваемой квазиоднородной зоны (безразмерная величина).

Высокая статистическая значимость результатов дает возможность использовать полученное соотношение в прогностических целях. Однако полученная модель — эмпирическая, поэтому ее применимость для иных городов, кроме Волгограда, является не обусловленной.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

По результатам аналитического обзора составлена таблица по сравнению методик расчета рассеивания ЗВ с выявлением и сопоставлением их достоинств и недостатков (табл.).

Существующие методы и методики расчета не учитывают взаимодействие $PM_{2.5}$ с зелеными насаждениями, находящимися на городских территориях. Этому вопросу начали уделять внимание лишь в последние несколько лет.

Краткое сравнение методик расчета рассеивания загрязняющих веществ

Brief comparison of methods for calculating the dispersion of pollutants

Название (год), авторы Title (year), authors	Описание методики Description of the technique	Достоинства Advantages	Недостатки Flaws
Руководство пользователя для CAL3QHC версии 2: Методология моделирования для прогнозирования концентраций загрязняющих веществ вблизи перекрестков проезжей части User's guide for CAL3QHC Version 2: A modeling methodology for predicting pollutant concentrations near roadway intersections (1992)	Предназначена для расчета концентраций ЗВ от выбросов автотранспорта на регулируемых и нерегулируемых перекрестках дорог The methodology is used to calculate the concentrations of pollutants from vehicle emissions at regulated and unregulated intersections of roads	Простой математический аппарат. Хорошая сходимость с экспериментальными измерениями Simple mathematical apparatus. Good convergence with experimental measurements	Расчетная область принята плоской, учет застройки производится путем задания шероховатости у поверхности, что приводит к неточным результатам в глубине жилого массива The computational domain is assumed to be flat, the built-up area is taken into account by setting roughness at the surface, which leads to inaccurate results in a residential area
Руководство пользователя для моделей дисперсии загрязняющих веществ от промышленных предприятий (ISC3) User's guide for the Industrial Source Complex (ISC3) dispersion models (1995)	Предназначена для расчета концентраций ЗВ вокруг промышленных предприятий The methodology is used to calculate the concentrations of pollutants around industrial enterprises	Учет влияния застройки на концентрацию ЗВ Account is taken of the influence of built-up areas on the concentration of pollutants	Применима для простых случаев. Точность расчета снижается при усложнении геометрии расчетной области Applicable to simple cases. The accuracy of the calculation decreases as the geometry of the computational domain turns more complex

Название (год), авторы Title (year), authors	Описание методики Description of the technique	Достоинства Advantages	Недостатки Flaws
<p>Моделирование и анализ переноса газовых выбросов от автомобильного потока со случайными характеристиками (2000); М.Г. Бояршинов Modelling and analysis of the gas emission transport from automobile, flows having random characteristics (2000); M.G. Boyarshinov</p>	<p>Предназначена для расчета концентраций легких и тяжелых ЗВ от движущихся автомобилей. Случайный поток частиц с известной средней интенсивностью считается пуассоновским процессом. Основана на решении уравнения турбулентной диффузии, рассчитывается математическое ожидание и дисперсия концентраций ЗВ The methodology is used to calculate the concentrations of light and heavy pollutants from moving cars. A random flow of particles with a known average intensity is considered a Poisson process. The methodology is based on the solution of the turbulent diffusion equation; the mathematical expectation and dispersion of concentrations of pollutants are calculated</p>	<p>Учет влияния направления и скорости ветра на процесс рассеивания ЗВ от автотранспорта. Учет размера частиц ЗВ при расчете путем введения скорости осаждения частиц W Taking into account the influence of wind direction and speed on the process of dispersion of pollutants from vehicles. Taking into account the particle size of pollutants in the calculation by introducing particle settling rate W</p>	<p>Не учитывает влияние прилегающей к автомобильной дороге застройки на распространение ЗВ Does not take into account the influence of the built-up area adjacent to the highway on the spread of pollutants</p>
<p>Моделирование рассеивания примеси низкотемпературных веществ в приземном слое атмосферы (2002); А.Д. Тевяшев Modeling the dispersion of low-temperature admixtures in the surface layer of the atmosphere (2002); A.D. Tevyashev</p>	<p>Описан алгоритм, который использует стандартную Гауссову модель рассеивания для построения поля концентрации ЗВ от стационарного точечного источника загрязнения The authors describe an algorithm that uses a standard Gaussian dispersion model to construct the concentration field of pollutants from a fixed pollution point</p>	<p>Реализации алгоритма в виде программы. Небольшие вычислительные затраты The algorithm is implemented as a software. Small costs of computation</p>	<p>Источник загрязнения является стационарным точечным. Не учитывается застройка и рельеф The source of pollution is a fixed point. Built-up areas and topography are not taken into account</p>
<p>Совершенствование методов расчета рассеивания пылевых выбросов предприятий стройиндустрии (2007); И.В. Кабаева Improvement of calculation methods for dispersion of dust emissions at construction industry enterprises (2007); I.V. Kabaeva</p>	<p>Предназначена для расчета концентраций пылевых частиц от строительных производств в горизонтальном турбулентном потоке под действием силы тяжести с учетом коэффициента формы пылевых частиц. Получена экспериментально The methodology is designed to calculate dust particle concentrations from construction industries in a horizontal turbulent flow under the action of gravity taking into account the shape factor of dust particles. It is obtained in an experiment</p>	<p>Учет размера пылевых частиц, скорость осаждения зависит от коэффициента формы частиц Account is taken of the size of dust particles, the settling rate depends on the shape coefficient of particles</p>	<p>Подходит только для расчета пылевого загрязнения от стационарных источников — предприятий стройиндустрии It is suitable only for the calculation of dust pollution from fixed sources — construction industry enterprises</p>

Продолжение таблицы / Continuation of the Table

Название (год), авторы Title (year), authors	Описание методики Description of the technique	Достоинства Advantages	Недостатки Flaws
<p>Математические модели загрязнения атмосферного воздуха мегаполиса и промышленного центра выбросами автотранспорта и промышленных предприятий (2012); К.М. Антропов Mathematical models of atmosphere air pollution in a megalopolis and an industrial centre by vehicular and industrial emissions (2012); K.M. Antropov</p>	<p>Предназначена для построения карты загрязнения исследуемой территории и оценки токсической экспозиции для населения. Произведен анализ регрессионных картографических моделей для описания пространственного распределения загрязнителей атмосферного воздуха с высоким пространственным разрешением на основе экспериментальных данных о загрязнении воздуха и географической информации This method is used to make a pollution map for the study area and assess the toxic exposure for the population. Regression cartographic models for describing the spatial distribution of atmospheric air pollutants with high spatial resolution based on experimental air pollution data and geographic information are analyzed</p>	<p>Учет размера ЗВ. Подходит для расчета РМ. Используемый метод регрессионной картографии не требует решения сложных дифференциальных уравнений Account is taken dimensions of pollutants. Suitable for model calculation. The method of regression mapping does not require solution of complex differential equations</p>	<p>Модель не подходит для прогнозирования изменения уровня загрязнения атмосферы города при изменении пропорций городского озеленения The model is not suitable for forecasting changes in the level of atmosphere pollution in the city if the proportions of urban landscaping change</p>
<p>Математическое моделирование процессов аэродинамики в лесных массивах и насаждениях (2012); С.А. Орлов Mathematical modeling of aerodynamic processes in forests and planted areas (2012); S.A. Orlov</p>	<p>Предназначена для проведения исследований по распространению пылевых облаков и акустических возмущений в лесных массивах за пределами города. Разработана математическая модель взаимодействия массивов растительности с двухфазными газодинамическими потоками на основании уравнений газовой динамики. Проведены численные параметрические исследования процессов осаждения частиц в массивах растительности It is used to study dust cloud propagation and acoustic disturbances in forested areas outside the city. The mathematical model of interaction between vegetated areas with two-phase gas-dynamic flows on the basis of gas dynamics equations is developed. Numerical parametric studies of particle settling processes in vegetated areas have been conducted</p>	<p>Учет размера частиц ЗВ. Учет взаимодействия твердых частиц с элементами озеленения за пределами города (осаждение частиц на листьях). Учет геометрических характеристик, формы посадки и видов деревьев Account for the particle size of pollutants. Account for interaction between solid particles and landscaping elements outside the city (settling of particles on leaves). Account for geometric characteristics, planting forms and types of trees</p>	<p>Сложность математического аппарата. Реализация методики только в численном виде Complexity of the mathematical apparatus. Implementation of the methodology only in the numerical form</p>

Название (год), авторы Title (year), authors	Описание методики Description of the technique	Достоинства Advantages	Недостатки Flaws
<p>Анализ физико-математических моделей атмосферной диффузии применительно к оценкам воздействия автотранспорта на городскую среду (2012); О.В. Ложкина Analysis of physical and mathematical models of atmospheric diffusion applied to assess the impact of motor transport on urban environment (2012); O.V. Lozhkina</p>	<p>Анализ моделей Гаусса: американские модели HIWAI-2, CALINE-4, GM, GFLSM, CAR-FMI, BLP, LOCD, ADAM, ASPEN. GASTAR, UDM, MLCD. LADM Analysis of Gaussian models: American models HIWAI-2, CALINE-4, GM, GFLSM, CAR-FMI, BLP, LOCD, ADAM, ASPEN. GASTAR, UDM, MLCD. LADM</p>	<p>Простота использования моделей Гаусса. Простота реализации в виде программ Simple use of Gaussian models. Easily implemented as software</p>	<p>Применяются только к плоской и открытой поверхности. Трудно учесть эффект препятствий. Метеорологические условия и условия поверхности земли постоянны на всем расстоянии, которое проходит облако газа. Применяются только для газов, имеющих плотность, близкую к воздуху. Обязательно должен быть ветер со скоростью >1 м/с Apply only to flat and open surfaces. It is difficult to account for the effect of obstacles. Meteorological and ground surface conditions are constant over the entire distance the gas cloud travels. Apply only to gases with a density close to air. The wind must blow at the speed of >1 m/s</p>
<p>Движение частиц в воздушном потоке (2013); А.А. Соболев Particle motion in an air flow (2013); A.A. Sobolev</p>	<p>Описана математическая модель отрыва твердых частиц от поверхности движущимся воздушным потоком, даны уравнения, позволяющие оценить траекторию частиц разного размера при отрыве от горизонтальной поверхности при различной скорости ветра A mathematical model of particulate matter detachment from the surface by a moving air flow is described, and equations are provided to estimate the trajectory of particles of different sizes when detached from the horizontal surface at different wind speeds</p>	<p>Может быть использована для расчета образования РМ путем ветровой эрозии почвы Can be used to calculate the formation of particulate matter by wind erosion of soil</p>	<p>Не является законченной методикой определения концентрации частиц РМ Is not a complete technique for determining the particle concentrations of particulate matter</p>

Продолжение таблицы / Continuation of the Table

Название (год), авторы Title (year), authors	Описание методики Description of the technique	Достоинства Advantages	Недостатки Flaws
Математическая модель для прогнозирования пространственного распределения загрязняющих веществ на городских магистралях (2015); И.И. Косинова A mathematical model for predicting the spatial distribution of pollutants on urban highways (2015); I.I. Kosinova	Математическая модель позволяет прогнозировать уровни загрязнения компонентов природной среды на участках городских автомагистралей с учетом плотности потока автомобилей, средней скорости движения, ширины магистрали The mathematical model predicts the levels of pollution of the natural environment components on sections of urban highways, taking into account the density of the flow of cars, the average traffic speed, the width of the highway	Возможен расчет параметров турбулентного линейного источника загрязнения (автомагистрали) в зависимости от плотности и состава трафика It is possible to calculate the parameters of the turbulent linear source of pollution (highway) depending on the density and composition of traffic	Не учитывается застройка. Подходит для оценки концентраций ЗВ на небольшом расстоянии от дороги вследствие сложности учета препятствий в виде зданий Does not take into account any built-up areas. Is suitable for assessing pollutant concentrations at a short distance from the road due to the complexity of taking into account obstacles in the form of buildings
Математическое моделирование загрязнения приповерхностных отложений аэрозольными частицами (2015); О.В. Базарский Mathematical modeling of surface sediment pollution by aerosol particles (2015); O.V. Bazarsky	Даны аналитические уравнения, описывающие движение твердых частиц под действием сил тяжести и сил ветрового потока. Модель может быть использована при проведении инженерно-экологических изысканий: при оценке имеющейся ситуации и прогнозе развития Analytical equations, describing the motion of solid particles under the action of gravity and wind flow forces, are provided. The model can be used when conducting engineering and environmental surveys and assessing the current situation and forecasting development patterns	Учет размера и основных параметров ЗВ и условий их рассеивания. Возможность определения, насколько далеко от источника загрязнения произойдет осаждение частицы на поверхности земли Taking into account the size and main parameters of pollutants and the conditions of their dispersion. The ability to determine how far the particle will settle from the source of pollution on the earth surface	Не учитывается сложный характер ветрового потока, поле скоростей ветра принимается однородным, что применимо на открытой равнинной местности при устойчивом направлении и скорости ветра Does not take into account the complex nature of the wind flow, the field of wind speeds is assumed to be homogeneous, which is applicable on open flat terrain when the wind direction and speed are stable
Методика оценки и прогнозирования экстремального загрязнения воздуха на автомагистралях мелкодисперсными взвешенными частицами PM_{10} и $PM_{2,5}$ (2016); Н.В. Невмержицкий A methodology for assessing and predicting extreme air pollution on highways by fine particulate matter PM_{10} and $PM_{2,5}$ (2016); N.V. Nevmerzhitsky	Предназначена для прогнозирования экстремального загрязнения воздуха на автомагистралях и в их окрестностях частицами PM_{10} и $PM_{2,5}$ с оценкой вклада сажевых частиц, продуктов износа шин, тормозных колодок и дорожного полотна The method is designated to predict extreme air pollution from PM_{10} and $PM_{2,5}$ particles on and around highways with an assessment of the contribution of soot particles, tire wear products, brake pads and the road bad	Даны количественные данные о мощности выбросов РМ от транспортных средств различного класса. Учет первичного и вторичного образования РМ (ресуспензия дорожной пыли) Quantitative data on PM emission rates from different classes of vehicles are given. Account is taken of primary and secondary formation of PM (resuspension of the road dust)	Расчет распространения РМ от дороги вглубь застройки ведется по нормативной методике ОНД-86. Расчет может быть не точным в глубине кварталов, так как натурные измерения производились возле дорог PM propagation from the road into built-up areas is calculated according to the normative method of ODN-86. The calculation may not be accurate inside blocks, since the field measurements were made near the roads

Название (год), авторы Title (year), authors	Описание методики Description of the technique	Достоинства Advantages	Недостатки Flaws
Характеристика рассеивания загрязняющих веществ вблизи вытянутых зданий на основе моделирования в аэродинамической трубе (2016); С.Дж. Перри Characterization of pollutant dispersion near elongated buildings based on wind tunnel simulations (2016); S.G. Perry	Усовершенствован метод Гаусса на основе данных испытаний в аэродинамической трубе для оценки концентрационных полей, возникающих вокруг прямоугольного здания при различных положениях источника загрязнения и направлении ветра The Gaussian method is improved on the basis of the wind tunnel test data to estimate the concentration fields occurring around a rectangular building for different positions of the pollution source and wind direction	Получение точных результатов, подтвержденных экспериментально, вблизи здания, где воздушный поток имеет сложный характер Obtaining accurate results, confirmed experimentally, in the vicinity of the building, where the airflow has a complex nature	Не учитывается влажность воздуха Does not take into account the air humidity
Приказ от 06.06.2017 № 273 «Об утверждении методов расчета рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе» (2017) Order No. 273 of June 6, 2017 "On approval of methods for calculating the dispersion of emissions of harmful (polluting) substances in the atmosphere air" (2017)	Усовершенствованная методика ОНД-86. Предназначена для расчета приземных концентраций ЗВ в двухметровом слое над поверхностью земли Improved methodology ODN-86, designed to calculate surface concentrations of pollutants in a two-meter layer above the ground surface	Учет рельефа местности через коэффициент. Возможность расчета долгопериодных концентраций ЗВ Taking into account the terrain by using a coefficient. The ability to calculate long-term concentrations of pollutants	Не учитываются реальная влажность воздуха и дисперсный состав аэрозоля Does not take into account the real air humidity and the dispersed composition of the aerosole
Совершенствование системы мониторинга загрязнения воздуха придорожных территорий городов мелкодисперсной пылью (2017); Н.С. Барикаева Improvement of the monitoring system of air pollution of roadside areas of cities by fine dust (2017); N.S. Barikayeva	Результаты измерения концентрации пыли рассматриваются как случайные величины и анализируются методами математической статистики. Найдены статистические зависимости между концентрациями PM_{10} и скоростью ветра, относительной влажностью воздуха и интенсивностью транспортного движения The results of dust concentration measurements are treated as random variables and analyzed using methods of mathematical statistics. The statistical relationships between PM_{10} concentrations and wind speed, relative air humidity and traffic intensity have been identified	Высокая степень статистической достоверности High degree of statistical reliability	Пылевое загрязнение рассматривается на придорожных участках на расстоянии до 10 м от дороги, т.е. не описывается рассеивание пыли вглубь жилой застройки Dust pollution is considered in roadside areas at a distance of up to 10 m from the road; the dispersion of dust into the blocks of residential buildings is not described

Продолжение таблицы / Continuation of the Table

Название (год), авторы Title (year), authors	Описание методики Description of the technique	Достоинства Advantages	Недостатки Flaws
Балансовый метод оценки загрязнения воздушной среды крупных городов на принципах биосферной совместимости (2017); Т.В. Донцова A balance method for assessing air pollution in large cities based on the principles of biocompatibility (2017); T.V. Dontsova	Разработана упрощенная математическая модель оценки загрязнения атмосферы на основе балансного метода поступления вредных веществ в городские районы. Статистическая обработка данных о скорости и направлении господствующего ветра позволила оценить итоговое влияние взаимообмена загрязненным воздухом между различными районами города в долгосрочной перспективе A simplified mathematical model of atmosphere pollution evaluation, based on the balance method of pollutant inflow to urban areas, was developed. Statistical processing of data on the speed and direction of the prevailing wind allowed estimating the final impact of an interchange of polluted air between different urban districts in the long term	Оценка влияния одного района города (или предприятия в данном районе) на уровень загрязнения во всем городе. Крупномасштабная оценка экологической ситуации Assessment of the impact of one urban district (or an enterprise in a given area) on the level of pollution in the entire city. Large-scale assessment of the environmental situation	Не применима для определения локального характера рассеивания и осадения ЗВ Not applicable for determining the local nature of dispersion and settling of pollutants
Совершенствование оценки пылевого загрязнения атмосферы урбанизированных территорий с учетом плотности застройки (2021); С.А. Богомолов Improvement of the assessment of dust pollution in the atmosphere of urban areas taking into account densely built-up areas (2021); S.A. Bogomolov	На основе статистической обработки экспериментальных данных по концентрации мелкодисперсных частиц в Волгограде получена зависимость их концентрации от температуры воздуха, влажности, скорости ветра, коэффициента плотности застройки, удельной нагрузки загрязнения пылью атмосферы рассматриваемой «квазистационарной зоны» Statistical processing of experimental data on concentration of fine particles in Volgograd was employed to identify the dependence between their concentration and air temperature, humidity, wind speed, the coefficient of urban density, the unit load of the dust pollution in the “quasi-fixed zone”	Высокая статистическая значимость результатов, возможно использование в прогностических целях High statistical significance of the results, usable for projection purposes	Высока вероятность неприменимости методики для других городов, кроме Волгограда. В модели не указано, в каких точках на территории «квазистационарного района» определяется концентрация пыли There is a high probability that the methodology is not applicable to other cities, except for Volgograd. The model does not specify the points in the “quasi-fixed area”, where dust concentration is identified

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Проанализированы существующие методы и методики расчета рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере, базирующиеся на моделях на основе распределения Гаусса, имитационных моделях, моделях с уравнениями в частных производных и статистических моделях. Выявлены преимущ-

ества и недостатки перечисленных выше методов и методик. Все они имеют некоторые допущения и ограничения в области своего применения. Это демонстрирует сложность описания динамических процессов, сопровождающих распространение ЗВ в атмосфере.

Проведенный анализ показывает, что в большей части имеющихся методов и методик расчета

дисперсии ЗВ в атмосферном воздухе учитывается только первый фактор — параметры самого источника загрязнения. Это позволяет подобрать правильное расположение источника загрязнения, его мощность и т.д. Однако при всех достоинствах эти методы и методики не учитывают второй фактор — параметры городской среды и его влияние на распространение ЗВ, либо учитывают, но в очень ограниченной форме. Так, например, известна способность зеленых насаждений поглощать некоторые ЗВ из атмосферы, в том числе и $PM_{2,5}$, что делает зеленые насаждения важным средством контроля рассеивания ЗВ в городской среде. По результатам аналитического обзора научных исследований выявлено влияние свойств зеленых насаждений на снижение пылевого загрязнения в городской атмосфере. Наиболее эффективной мерой по снижению $PM_{2,5}$, образованных в результате дорожного движения, является создание зеленого пояса вдоль дорог. Из всех рассмотренных работ только методика № 7 в таблице учитывает взаимодействие ЗВ с зелеными насаждениями. Причем эта методика не учитывает специфику городской среды. В данной методике рассматривается движение ветрового потока в непрерывном, однородном лесном массиве, что не совпадает с условиями городской застройки. Также не принимается в расчет влияние зданий на режим ветрового потока, которые служат препятствием, меняя направление и скорость ветра. Характер рас-

сеивания ЗВ внутри лесного массива и в условиях городской застройки будет значительно отличаться.

Это показывает, что в настоящий момент в расчетных методиках существуют ограничения в учете способности зеленых насаждений поглощать некоторые ЗВ из атмосферы, в том числе и $PM_{2,5}$. Следовательно, есть необходимость в разработке методики расчета рассеивания ЗВ в городской атмосфере, позволяющей учитывать помимо параметров самого источника загрязнения параметры городской среды, в частности, наиболее перспективным из них является учет озелененной территории. Это даст возможность прогнозировать изменение концентрации ЗВ в атмосфере города при изменении пропорций городского озеленения, что позволит эффективно планировать городскую среду с точки зрения экологической безопасности. Таким образом, следующим шагом на пути развития расчетных методов и методик рассеивания ЗВ в городской атмосфере в целях обеспечения экологической безопасности городской среды станет разработка методики, позволяющей при расчете концентрации ЗВ учитывать пылепоглощающую способность насаждений в отношении частиц $PM_{2,5}$ и сорбционные свойства лиственной поверхности деревьев и кустарников на территории исследования. Данная методика может обусловить размещение объектов озеленения (деревьев, кустарников), газонного городского озеленения и озеленения крыш и стилобатов жилых и общественных зданий в целях снижения $PM_{2,5}$.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Bakaeva N., Le M.T.* Determination of urban pollution islands by using remote sensing technology in Moscow, Russia // *Ecological Informatics*. 2022. Vol. 67. P. 101493. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2021.101493
2. *Ложкин В.Н., Буренин Н.С., Лукьянов С.В., Ложкина О.В.* Исследование воздействия автотранспорта на воздушную среду на примере кольцевой автомагистрали Санкт-Петербурга // *Вестник гражданских инженеров*. 2011. № 4 (29). С. 117–122.
3. *Марченко В.С., Ложкина О.В., Сорокина О.В., Ложкин В.Н.* Совершенствование методики оценки и прогнозирования возникновения чрезвычайного локального загрязнения воздуха оксидами азота вблизи автодорог // *Вестник гражданских инженеров*. 2015. № 2 (49). С. 149–154.
4. *Ложкин В.Н., Лукьянов С.В., Ложкина О.В.* Экспериментально-аналитическое исследование загрязнения атмосферы вблизи КАД Санкт-Петербурга // *Технико-технологические проблемы сервиса*. 2012. № 2 (20). С. 7–14.
5. *Bespalov V.I., Gurova O.S., Samarskaya N.S.* Main principles of the atmospheric air ecological monitoring organization for urban environment mobile pollution sources // *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 150. Pp. 2019–2024. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.286
6. *Lelieveld J., Evans J.S., Fnais M., Giannadaki D., Pozzer A.* The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale // *Nature*. 2015. Vol. 525. Issue 7569. Pp. 367–371. DOI: 10.1038/nature15371
7. *Rodopoulou S., Samoli E., Chalbot M.C., Kavouras I.G.* Air pollution and cardiovascular and respiratory emergency visits in Central Arkansas: A time-series analysis // *Science of The Total Environment*. 2015. Vol. 536. Pp. 872–879. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.06.056
8. *Heinzerling A., Hsu J., Yip F.* Respiratory health effects of ultrafine particles in children: a literature review // *Water, Air, & Soil Pollution*. 2016. Vol. 227. Issue 1. DOI: 10.1007/s11270-015-2726-6
9. *Xu W., Wang S., Jiang L., Sun X., Wang N., Liu X. et al.* The influence of $PM_{2,5}$ exposure on kidney diseases // *Human & Experimental Toxicology*. 2022. Vol. 41. P. 096032712110699. DOI: 10.1177/09603271211069982
10. *Chowdhury S., Pozzer A., Haines A., Klingmüller K., Münzel T., Paasonen P. et al.* Global health

- burden of ambient PM_{2.5} and the contribution of anthropogenic black carbon and organic aerosols // *Environment International*. 2022. Vol. 159. P. 107020. DOI: 10.1016/j.envint.2021.107020
11. Xi Y., Richardson D.B., Kshirsagar A.V., Wade T.J., Flythe J.E., Whitsel E.A. et al. Effects of short-term ambient PM_{2.5} exposure on cardiovascular disease incidence and mortality among U.S. hemodialysis patients: a retrospective cohort study // *Environmental Health*. 2022. Vol. 21. Issue 1. DOI: 10.1186/s12940-022-00836-0
 12. Meo S.A., Alqahtani A.S., Saad binmeather F., AlRasheed A.R., Aljedaie M.G., Albarrak M.R. Effect of environmental pollutants PM_{2.5}, CO, O₃ and NO₂ on the incidence and mortality of SARS-COV-2 in largest metropolitan cities, Delhi, Mumbai and Kolkata, India // *Journal of King Saud University — Science*. 2022. Vol. 34. Issue 1. P. 101687. DOI: 10.1016/j.jksus.2021.101687
 13. Борисов М.В., Бакаева Н.В., Черняева И.В. Нормативно-техническое регулирование в области озеленения городской среды // *Вестник МГСУ*. 2020. Т. 15. № 2. С. 212–222. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.2.212-222
 14. Zhang L., He J., Gong S., Guo X., Zhao T., Zhou C. et al. Effect of vegetation seasonal cycle alterations to aerosol dry deposition on PM_{2.5} concentrations in China // *Science of The Total Environment*. 2022. Vol. 828. P. 154211. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.154211
 15. Yang Y.-L., Yang K., Luo Y., Yu Z.-Y., Meng C., Li C. Effect of vegetation coverage on the temporal and spatial distribution of pm_{2.5} concentration in China's eight major economic regions from 1998 to 2016 // *Environ. Sci.* 2021. Vol. 42. Issue 11. Pp. 5100–5108. DOI: 10.13227/j.hjx.202101277
 16. Wroblewska K., Jeong B.R. Effectiveness of plants and green infrastructure utilization in ambient particulate matter removal // *Environmental Sciences Europe*. 2021. Vol. 33. Issue 1. DOI: 10.1186/s12302-021-00547-2
 17. Chen G., Lin L., Hu Y., Zhang Y., Ma K. Net particulate matter removal ability and efficiency of ten plant species in Beijing // *Urban Forestry & Urban Greening*. 2021. Vol. 63. P. 127230. DOI: 10.1016/j.ufug.2021.127230
 18. He C., Qiu K., Alahmad A., Pott R. Particulate matter capturing capacity of roadside evergreen vegetation during the winter season // *Urban Forestry & Urban Greening*. 2020. Vol. 48. P. 126510. DOI: 10.1016/j.ufug.2019.126510
 19. Rahmani A.M., Mirmahaleh S.Y.H., Hosseinzadeh M. An intelligent algorithm to recommend percent vegetation cover (ARVC) for PM_{2.5} reduction // *Air Quality, Atmosphere & Health*. 2020. Vol. 13. Issue 7. Pp. 859–870. DOI: 10.1007/s11869-020-00844-4
 20. Abhijith K.V., Kumar P., Gallagher J., McNabola A., Baldauf R., Pilla F. Air pollution abatement performances of green infrastructure in open road and built-up street canyon environments — A review // *Atmospheric Environment*. 2017. Vol. 162. Pp. 71–86. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2017.05.014
 21. Morakinyo T.E., Lam Y.F., Hao S. Evaluating the role of green infrastructures on near-road pollutant dispersion and removal: Modelling and measurement // *Journal of Environmental Management*. 2016. Vol. 182. Pp. 595–605. DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.07.077
 22. Pugh T.A.M., Mackenzie A.R., Whyatt J.D., Hewitt C.N. Effectiveness of green infrastructure for improvement of air quality in urban street canyons // *Environmental Science & Technology*. 2012. Vol. 46. Issue 14. Pp. 7692–7699. DOI: 10.1021/es300826w
 23. Чернышенко О.В. Пылефильтрующая способность древесных растений // *Лесной вестник*. 2012. Т. 3. С. 7–10.
 24. Speak A.F., Rothwell J.J., Lindley S.J., Smith C.L. Urban particulate pollution reduction by four species of green roof vegetation in a UK city // *Atmospheric Environment*. 2012. Vol. 61. Pp. 283–293. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2012.07.043
 25. Feng H., Ding Y., Zou B., Cohen J.B., Ye S., Yang Z. et al. Vegetation-related dry deposition of global PM_{2.5} from satellite observations // *Journal of Geographical Sciences*. 2022. Vol. 32. Issue 4. Pp. 589–604. DOI: 10.1007/s11442-022-1962-0
 26. Xie C., Guo J., Yan L., Jiang R., Liang A., Che S. The influence of plant morphological structure characteristics on PM_{2.5} retention of leaves under different wind speeds // *Urban Forestry & Urban Greening*. 2022. Vol. 71. P. 127556. DOI: 10.1016/j.ufug.2022.127556
 27. Feng H., Feng H. Correlation analysis between PM_{2.5} concentration and meteorological, vegetation and topographical factors in the urbanized ecosystem in Beijing, China // *Nature Environment and Pollution Technology*. 2020. Vol. 19. Issue 4. Pp. 1399–1410. DOI: 10.46488/NEPT.2020.v19i04.006
 28. Wang J., Xie C., Liang A., Jiang R., Man Z., Wu H. et al. Spatial-temporal variation of Air PM_{2.5} and PM₁₀ within different types of vegetation during winter in an urban riparian zone of Shanghai // *Atmosphere*. 2021. Vol. 12. Issue 11. P. 1428. DOI: 10.3390/atmos12111428
 29. Yin Z., Zhang Y., Ma K. Evaluation of PM_{2.5} retention capacity and structural optimization of urban park green spaces in Beijing // *Forests*. 2022. Vol. 13. Issue 3. P. 415. DOI: 10.3390/f13030415
 30. Sgrigna G., Baldacchini C., Dreveck S., Cheng Z., Calfapietra C. Relationships between air particulate matter capture efficiency and leaf traits in twelve tree species from an Italian urban-industrial environment // *Science of The Total Environment*.

2020. Vol. 718. P. 137310. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.137310

31. Xing Y., Brimblecombe P. Trees and parks as “the lungs of cities” // *Urban Forestry & Urban Greening*. 2020. Vol. 48. P. 126552. DOI: 10.1016/j.ufug.2019.126552

32. Han D.H., Shen H.L., Duan W.B., Chen L.X. A review on particulate matter removal capacity by urban forests at different scales // *Urban Forestry & Urban Greening*. 2020. Vol. 48. P. 126565. DOI: 10.1016/j.ufug.2019.126565

33. Wu J., Luo K., Wang Y., Wang Z. Urban road greenbelt configuration: The perspective of PM_{2.5} removal and air quality regulation // *Environment International*. 2021. Vol. 157. P. 106786. DOI: 10.1016/j.envint.2021.106786

34. Ложкина О.В., Попов В.В., Кузнецова А.Д. Анализ физико-математических моделей атмосферной диффузии применительно к оценкам воздействия автотранспорта на городскую среду // *Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России*. 2012. № 1. С. 59–66.

35. Тевяшев А.Д., Выходцев Е.И. Моделирование рассеивания примеси низкотемпературных веществ в приземном слое атмосферы // *Радиоэлектроника и информатика*. 2002. № 2. С. 54–56.

36. Perry S.G., Heist D.K., Brouwer L.H., Monbureau E.M., Brixey L.A. Characterization of pollutant dispersion near elongated buildings based on wind tunnel simulations // *Atmospheric Environment*. 2016. Vol. 142. Pp. 286–295. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2016.07.052

37. Невмержицкий Н.В. Методика оценки и прогнозирования экстремального загрязнения воздуха на автомагистралях мелкодисперсными взвешенными частицами PM₁₀ и PM_{2.5}: дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2016. 154 с.

38. Бояришинов М.Г. Моделирование и анализ переноса газовых выбросов от автомобильного потока со случайными характеристиками // *Приклад-*

ная механика и техническая физика. 2000. Т. 41. № 6 (244). С. 86–94.

39. Косинова И.И., Фонова С.И. Математическая модель для прогнозирования пространственного распределения загрязняющих веществ на городских магистралях // *Инженерные изыскания*. 2015. № 7. С. 24–27.

40. Базарский О.В., Косинова И.И., Фонова С.И. Математическое моделирование загрязнения приповерхностных отложений аэрозольными частицами // *Инженерные изыскания*. 2015. № 5–6. С. 76–79.

41. Кабаева И.В. Совершенствование методов расчета рассеивания пылевых выбросов предприятий стройиндустрии: дис. ... канд. техн. наук. Волгоград, 2007. 142 с.

42. Соболев А.А., Мельников П.А., Тютюнник А.О. Движение частиц в воздушном потоке // *Вектор науки ТГУ*. 2013. № 3 (17). С. 82–86.

43. Орлов С.А. Математическое моделирование процессов аэродинамики в лесных массивах и насаждениях: дис. ... канд. физ.-мат. наук. Томск, 2012. 132 с.

44. Антропов К.М. Математические модели загрязнения атмосферного воздуха мегаполиса и промышленного центра выбросами автотранспорта и промышленных предприятий: дис. ... канд. физ.-мат. наук. Екатеринбург, 2012. 139 с.

45. Барикаева Н.С. Совершенствование системы мониторинга загрязнения воздуха придорожных территорий городов мелкодисперсной пылью: дис. ... канд. техн. наук. Волгоград, 2017. 159 с.

46. Донцова Т.В. Балансовый метод оценки загрязнения воздушной среды крупных городов на принципах биосферной совместимости: дис. ... канд. техн. наук. Волгоград, 2016. 159 с.

47. Богомолов С.А. Совершенствование оценки пылевого загрязнения атмосферы урбанизированных территорий с учетом плотности застройки: дис. ... канд. техн. наук. Волгоград, 2021. 117 с.

Поступила в редакцию 15 апреля 2022 г.

Принята в доработанном виде 10 июля 2022 г.

Одобрена для публикации 10 июля 2022 г.

ОБ АВТОРАХ: Елена Владимировна Сысоева — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры проектирования зданий и сооружений; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 5703-9029, Scopus: 57192373360, ResearcherID: AFJ-9050-2022, ORCID: 0000-0001-7250-3190; SysoevaEV@mgsu.ru;

Маргарита Олеговна Гельманова — аспирант кафедры проектирования зданий и сооружений; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 8462-8299, ORCID: 0000-0003-2232-5239; margo.gelmanova@yandex.ru.

Вклад авторов:

Сысоева Е.В. — научное руководство, концепция исследования, научное редактирование текста статьи, итоговых результатов и выводов.

Гельманова М.О. — сбор и обработка материала, написание исходного текста и его доработка в соответствии с корректурами, итоговые результаты и выводы.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Bakaeva N., Le M.T. Determination of urban pollution islands by using remote sensing technology in Moscow, Russia. *Ecological Informatics*. 2022; 67:101493. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2021.101493
2. Lozhkin V.N., Burenin N.S., Lukyanov S.V., Lozhkina O.V. Investigation of the transports effect on the air environment on the example of the Saint-Petersburg ring highway. *Bulletin of Civil Engineers*. 2011; 4(29):117-122. (rus.).
3. Marchenko V.S., Lozhkina O.V., Sorokina O.V., Lozhkin V.N. Improvement of the assessment methodology and forecasting of extremely high local air pollution with nitrogen oxides near motor roads. *Bulletin of Civil Engineers*. 2015; 2(49):149-154. (rus.).
4. Lozhkin V.N., Luk'yanov S.V., Lozhkina O.V. Experimental and analytical study of air pollution near the Ring Road of St. Petersburg. *Technical and Technological Problems of Service*. 2012; 2(20):7-14. (rus.).
5. Bepalov V.I., Gurova O.S., Samarskaya N.S. Main principles of the atmospheric air ecological monitoring organization for urban environment mobile pollution sources. *Procedia Engineering*. 2016; 150:2019-2024. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.286
6. Lelieveld J., Evans J.S., Fnais M., Giannadaki D., Pozzer A. The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature*. 2015; 525(7569):367-371. DOI: 10.1038/nature15371
7. Rodopoulou S., Samoli E., Chalbot M.C., Kavouras I.G. Air pollution and cardiovascular and respiratory emergency visits in Central Arkansas: A time-series analysis. *Science of The Total Environment*. 2015; 536:872-879. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.06.056
8. Heinzerling A., Hsu J., Yip F. Respiratory health effects of ultrafine particles in children: A literature review. *Water, Air, & Soil Pollution*. 2016; 227(1). DOI: 10.1007/s11270-015-2726-6
9. Xu W., Wang S., Jiang L., Sun X., Wang N., Liu X. et al. The influence of PM_{2.5} exposure on kidney diseases. *Human & Experimental Toxicology*. 2022; 41:096032712110699. DOI: 10.1177/09603271211069982
10. Chowdhury S., Pozzer A., Haines A., Klingmüller K., Münzel T., Paasonen P. et al. Global health burden of ambient PM_{2.5} and the contribution of anthropogenic black carbon and organic aerosols. *Environment International*. 2022; 159:107020. DOI: 10.1016/j.envint.2021.107020
11. Xi Y., Richardson D.B., Kshirsagar A.V., Wade T.J., Flythe J.E., Whitsel E.A. et al. Effects of short-term ambient PM_{2.5} exposure on cardiovascular disease incidence and mortality among U.S. hemodialysis patients: a retrospective cohort study. *Environmental Health*. 2022; 21(1). DOI: 10.1186/s12940-022-00836-0
12. Meo S.A., Alqahtani A.S., Saad binmeather F., AlRasheed A.R., Aljedaie M.G., Albarrak M.R. Effect of environmental pollutants PM_{2.5}, CO, O₃ and NO₂, on the incidence and mortality of SARS-COV-2 in largest metropolitan cities, Delhi, Mumbai and Kolkata, India. *Journal of King Saud University — Science*. 2022; 34(1):101687. DOI: 10.1016/j.jksus.2021.101687
13. Borisov M.V., Bakaeva N.V., Chernyayeva I.V. Normative and technical regulation in the field of urban green space arrangement. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2020; 15(2):212-222. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.2.212-222 (rus.).
14. Zhang L., He J., Gong S., Guo X., Zhao T., Zhou C. et al. Effect of vegetation seasonal cycle alterations to aerosol dry deposition on PM_{2.5} concentrations in China. *Science of The Total Environment*. 2022; 828:154211. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.154211
15. Yang Y.-L., Yang K., Luo Y., Yu Z.-Y., Meng C., Li C. Effect of vegetation coverage on the temporal and spatial distribution of PM_{2.5} concentration in China's eight major economic regions from 1998 to 2016. *Environ. Sci.* 2021; 42(11):5100-5108. DOI: 10.13227/j.hjx.202101277
16. Wroblewska K., Jeong B.R. Effectiveness of plants and green infrastructure utilization in ambient particulate matter removal. *Environmental Sciences Europe*. 2021; 33(1). DOI: 10.1186/s12302-021-00547-2
17. Chen G., Lin L., Hu Y., Zhang Y., Ma K. Net particulate matter removal ability and efficiency of ten plant species in Beijing. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2021; 63:127230. DOI: 10.1016/j.ufug.2021.127230
18. He C., Qiu K., Alahmad A., Pott R. Particulate matter capturing capacity of roadside evergreen vegetation during the winter season. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2020; 48:126510. DOI: 10.1016/j.ufug.2019.126510
19. Rahmani A.M., Mirmahaleh S.Y.H., Hosseinzadeh M. An intelligent algorithm to recommend percent vegetation cover (ARVC) for PM_{2.5} reduction. *Air Quality, Atmosphere & Health*. 2020; 13(7):859-870. DOI: 10.1007/s11869-020-00844-4
20. Abhijith K.V., Kumar P., Gallagher J., McNabola A., Baldauf R., Pilla F. Air pollution abate-

ment performances of green infrastructure in open road and built-up street canyon environments — A review. *Atmospheric Environment*. 2017; 162:71-86. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2017.05.014

21. Morakinyo T.E., Lam Y.F., Hao S. Evaluating the role of green infrastructures on near-road pollutant dispersion and removal: Modelling and measurement. *Journal of Environmental Management*. 2016; 182:595-605. DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.07.077

22. Pugh T.A.M., Mackenzie A.R., Whyatt J.D., Hewitt C.N. Effectiveness of green infrastructure for improvement of air quality in urban street canyons. *Environmental Science & Technology*. 2012; 46(14):7692-7699. DOI: 10.1021/es300826w

23. Chernyshenko O.V. Dust-filtering ability of woody plants. *Forest Bulletin*. 2012; 3:7-10. (rus.).

24. Speak A.F., Rothwell J.J., Lindley S.J., Smith C.L. Urban particulate pollution reduction by four species of green roof vegetation in a UK city. *Atmospheric Environment*. 2012; 61:283-293. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2012.07.043

25. Feng H., Ding Y., Zou B., Cohen J.B., Ye S., Yang Z. et al. Vegetation-related dry deposition of global PM_{2.5} from satellite observations. *Journal of Geographical Sciences*. 2022; 32(4):589-604. DOI: 10.1007/s11442-022-1962-0

26. Xie C., Guo J., Yan L., Jiang R., Liang A., Che S. The influence of plant morphological structure characteristics on PM_{2.5} retention of leaves under different wind speeds. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2022; 71:127556. DOI: 10.1016/j.ufug.2022.127556

27. Feng H., Feng H. Correlation analysis between PM_{2.5} concentration and meteorological, vegetation and topographical factors in the urbanized ecosystem in Beijing, China. *Nature Environment and Pollution Technology*. 2020; 19(4):1399-1410. DOI: 10.46488/NEPT.2020.v19i04.006

28. Wang J., Xie C., Liang A., Jiang R., Man Z., Wu H. et al. Spatial-temporal variation of air PM_{2.5} and PM₁₀ within different types of vegetation during winter in an urban riparian zone of Shanghai. *Atmosphere*. 2021; 12(11):1428. DOI: 10.3390/atmos12111428

29. Yin Z., Zhang Y., Ma K. Evaluation of PM_{2.5} Retention Capacity and Structural Optimization of Urban Park Green Spaces in Beijing. *Forests*. 2022; 13(3):415. DOI: 10.3390/f13030415

30. Sgrigna G., Baldacchini C., Dreveck S., Cheng Z., Calfapietra C. Relationships between air particulate matter capture efficiency and leaf traits in twelve tree species from an Italian urban-industrial environment. *Science of The Total Environment*. 2020; 718:137310. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.137310

31. Xing Y., Brimblecombe P. Trees and parks as “the lungs of cities”. *Urban Forestry & Ur-*

ban Greening. 2020; 48:126552. DOI: 10.1016/j.ufug.2019.126552

32. Han D.H., Shen H.L., Duan W.B., Chen L.X. A review on particulate matter removal capacity by urban forests at different scales. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2020; 48:126565. DOI: 10.1016/j.ufug.2019.126565

33. Wu J., Luo K., Wang Y., Wang Z. Urban road greenbelt configuration: The perspective of PM_{2.5} removal and air quality regulation. *Environment International*. 2021; 157:106786. DOI: 10.1016/j.envint.2021.106786

34. Lozhkina O.V., Popov V.V., Kyznecova A.D. Analysis of the physic-mathematical models of the atmospheric diffusion for estimation of the influence of the cars on town ambience. *Vestnik Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia*. 2012; 1:59-66. (rus.).

35. Tevyashev A.D., Vykhodtsev E.I. Modeling of dispersion of an impurity freezing substances in ground layer atmosphere. *Radioelectronics and Informatics*. 2002; 2:54-56. (rus.).

36. Perry S.G., Heist D.K., Brouwer L.H., Monbureau E.M., Brixey L.A. Characterization of pollutant dispersion near elongated buildings based on wind tunnel simulations. *Atmospheric Environment*. 2016; 142:286-295. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2016.07.052

37. Nevmerzhtskii N.V. *Methodology for assessment and prediction of extreme air pollution on highways by fine suspended particles PM₁₀ and PM_{2.5}*: Ph.D. in Technical Sciences. St. Petersburg, 2016; 154. (rus.).

38. Boyarshinov M.G. Simulation and analysis of transport of gaseous wastes from automobile traffic with random characteristics. *Applied Mechanics and Technical Physics*. 2000; 41(6):86-94. (rus.).

39. Kosinova I.I., Fonova S.I. A mathematical model for forecastting the spatial distribution of pollutants over urban highways. *Engineering Survey*. 2015; 7:24-27. (rus.).

40. Bazarsky O.V., Kosinova I.I., Fonova S.I. Mathematical modeling of near-surface soil pollution by aerosol particles. *Engineering Survey*. 2015; 5-6:76-79. (rus.).

41. Kabaeva I.V. *Improvement of calculation methods of dispersion of dust emissions at enterprises of building industry*: Ph.D. in Technical Sciences. Volgograd, 2007; 142. (rus.).

42. Sobolev A.A., Melnikov P.A., Tyutyunik A.O. The movement of particles in the air stream. *Science Vector of Togliatti State University*. 2013; 3(17):83-86. (rus.).

43. Orlov S.A. *Mathematical modeling of aerodynamics processes in forests and plantations*: Ph.D. in Physics and Mathematics. Tomsk, 2012; 132. (rus.).

44. Antropov K.M. *Mathematical models of atmospheric air pollution of megapolis and industrial center by emissions of motor vehicles and industrial enterpris-*

es : *Ph.D. in Physics and Mathematics*. Ekaterinburg, 2012; 139. (rus.).

45. Barikaeva N.S. *Perfection of the monitoring system of air pollution of roadside areas of cities by fine dust* : *Ph.D. in Technical Sciences*. Volgograd, 2017; 159. (rus.).

46. Dontsova T.V. *Balance method for assessing air pollution in large cities on the principles of biocom-*

patibility : *Ph.D. in Technical Sciences*. Volgograd, 2016; 159. (rus.).

47. Bogomolov S.A. *Improving the assessment of dust pollution of the atmosphere of urbanized territories, taking into account the density of development* : *Ph.D. in Technical Sciences*. Volgograd, 2021; 117. (rus.).

Received April 15, 2022.

Adopted in revised form on July 10, 2022.

Approved for publication on July 10, 2022.

BIOTNOTES: **Elena V. Sysoeva** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Buildings and Structures Design; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 5703-9029, Scopus: 57192373360, ResearcherID: AFJ-9050-2022, ORCID: 0000-0001-7250-3190; SysoevaEV@mgsu.ru;

Margarita O. Gelmanova — postgraduate student of the Department of Buildings and Structures Design; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 8462-8299, ORCID: 0000-0003-2232-5239; margo.gelmanova@yandex.ru.

Contribution of the authors:

Elena V. Sysoeva — scientific supervision, research concept, scientific editing of the article text, final results and conclusions.

Margarita O. Gelmanova — collection and processing of the material, writing of the original text and its revision according to the corrections, final results and conclusions.

The authors declare that there is no conflict of interests.

Обеспечение безопасных условий труда при обустройстве бытовых городков капитально ремонтируемых зданий

Елена Анатольевна Король, Рима Сергеевна Петросян

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Строительное производство характеризуется особыми условиями проведения работ, к числу которых относится необходимость организации на строительной площадке бытовых городков (БГ) для обеспечения сбалансированных условий труда и отдыха работающих.

Материалы и методы. Для зданий БГ предусмотрены нормы проектирования, отражающие не только общие для всех зданий и сооружений требования, но и учитывающие их временный период эксплуатации с возможным повторным применением. Проектирование территорий БГ определяется также разработанными для них нормами и правилами. Выполнение работ по капитальному ремонту зданий подчиняется тем же требованиям по организации строительных площадок. Однако ремонтно-строительные работы, проводимые в условиях плотной городской застройки на урбанизированных территориях, определяют дополнительный комплекс исследований в области обеспечения безопасных условий производства ремонтно-строительных работ в эксплуатируемых зданиях. Организация работ по капитальному ремонту также имеет свои особенности, связанные с ограничением времени их осуществления в эксплуатируемом здании в одну смену для минимизации негативных воздействий от производственного шума на жильцов, образования строительных отходов, движения транспортных средств. Цель исследования — выявление факторов, влияющих на безопасность обеспечения жизнедеятельности и труда рабочих, занятых в ремонтно-строительном производстве, и разработка мероприятий по снижению их воздействия в производственном процессе.

Результаты. Результатом исследований является предложенный инструментарий оценки фактора стесненности территории при проектировании БГ для организации производственного процесса капитального ремонта зданий с учетом требований безопасности труда.

Выводы. Формализация требований к проектированию и эксплуатации БГ при реализации региональных программ по капитальному ремонту многоквартирных жилых домов необходима с учетом стесненных условий выполнения ремонтно-строительных процессов различной сложности в эксплуатируемых зданиях, без отселения жильцов и гармонизирована с требованиями по безопасным условиям труда в процессе нового строительства.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: безопасность труда, ремонтно-строительное производство, строительная площадка, бытовой городок, стесненные условия труда, капитальный ремонт, городская застройка

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Король Е.А., Петросян Р.С. Обеспечение безопасных условий труда при обустройстве бытовых городков капитально ремонтируемых зданий // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 8. С. 1046–1053. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.8.1046-1053

Автор, ответственный за переписку: Рима Сергеевна Петросян, PetrosyanRS@mgsu.ru.

Ensuring safe working conditions in the arrangement of household towns of overhauled buildings

Elena A. Korol, Rima S. Petrosyan

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

ABSTRACT

Introduction. Construction production is characterized by special conditions for the production of works, which include the need to organize residential camps at the construction site to ensure balanced working and rest conditions for workers.

Materials and methods. For buildings of residential camps, design standards are provided that reflect not only the requirements common to all buildings and structures, but also take into account their temporary period of operation with possible reuse. The design of the territories of residential towns is also determined by the norms and rules developed for them. The overhaul of buildings is subject to the same requirements for the organization of construction sites. However, repair and construction work carried out in conditions of dense urban development, in urbanized areas, predetermine an additional set of studies in the field of ensuring safe conditions for the production of repair and construction work in buildings in operation. The organization of the production of capital repairs also has its own characteristics associated with limiting the time they are carried out in an operated building in one shift to minimize the negative impacts from industrial noise on residents, the formation of construction waste, and the movement of vehicles. The purpose of the study is to identify factors that affect

the safety of life and work of workers employed in the repair and construction industry, and to develop measures to reduce their impact in the production process.

Results. The result of the research is the proposed toolkit for assessing the factor of tightness of the territory in the design of residential towns for organizing the production process of capital repairs of buildings, taking into account labor safety requirements.

Conclusions. Formalization of requirements for the design and operation of residential camps in the implementation of regional programs for the overhaul of multi-apartment residential buildings is necessary, taking into account the cramped conditions for performing repair and construction processes of varying complexity in operated buildings, without resettling residents, and is harmonized with the requirements for safe working conditions in the process of new construction.

KEYWORDS: labor safety, repair and construction production, construction site, household camp, cramped working conditions, overhaul, urban development

FOR CITATION: Korol E.A., Petrosyan R.S. Ensuring safe working conditions in the arrangement of household towns of overhauled buildings. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2022; 17(8):1046-1053. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.8.1046-1053 (rus.).

Corresponding author: Rima S. Petrosyan, PetrosyanRS@mgsu.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Мероприятия по охране труда в ремонтно-строительном производстве базируются на применении ряда нормативных документов, в совокупности формирующих не только безопасные условия труда, но и условия для обеспечения нормального производственного быта всех категорий работающих.

С учетом специфических особенностей производства ремонтно-строительных работ, в первую очередь, связанных с их проведением в эксплуатируемых зданиях, зачастую без отселения жителей, например, в многоквартирных домах (МКД), требования по охране труда должны быть гармонизированы с учетом действующих Правил по охране труда при строительстве, реконструкции и ремонте, утвержденных приказом Министерства труда и социальной защиты РФ от 11.12.2020 № 883н, и Правил по охране труда в жилищно-коммунальном хозяйстве, утвержденных приказом Министерства труда и социальной защиты РФ от 29.10.2020 № 758н, в которых предусмотрены взаимно дополняющие друг друга мероприятия.

Создание безопасных условий труда основывается на требованиях ряда межотраслевых нормативных документов. К ним относятся: СП 48.1330.2019 (с изм.) (СНиП 12-01-2004 «Организация строительства»); Федеральный закон РФ № 197-ФЗ «Трудовой кодекс Российской Федерации» (с изм. и доп.); Федеральный закон РФ № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»; Федеральный закон РФ № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях промышленной безопасности»; Федеральный закон РФ № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды»; Федеральный закон РФ № 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха»; Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения, утвержденные приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору № 533; Правила противопожарного режима в РФ, утвержденные Постановлением Правительства РФ № 390; Приказ Министерства

труда и социальной защиты РФ № 155н «Об утверждении Правил по охране труда при работе на высоте»; ПОТ Р М 020-2001 «Межотраслевые правила по охране труда при электро- и газосварочных работах»; ПОТ Р М 007-98 «Межотраслевые правила по охране труда при погрузочно-разгрузочных работах и размещении грузов»; ПОТ Р М 027-2003 «Межотраслевые правила по охране труда на автомобильном транспорте»; ПОТ РО 14000-005-98 «Положение. Работы с повышенной опасностью. Организация проведения»; ПОТ РО 14000-007-98 «Положение. Охрана труда при складировании материалов»; СП 9.13130-2009 «Техника пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации»; Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей, утвержденные приказом Минэнерго РФ от 13.01.2003 № 6; РД 11-06-2007 «Методические рекомендации о порядке разработки проектов производства работ грузоподъемными машинами и технологических карт погрузочно-разгрузочных работ»; Постановление Правительства г. Москвы № 857-ПП «Об утверждении Правил подготовки и производства земляных работ, обустройства и содержания строительных площадок в городе Москве»; Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок», утвержденные Министерством труда и социальной защиты РФ № 328н и др.

Большой перечень нормативных документов, совокупность которых обеспечивает соблюдение требований безопасности при производстве ремонтно-строительных работ и организации труда и быта работающих, целесообразно систематизировать для использования в практической деятельности. С целью обеспечения безопасных условий выполнения работ и охраны труда региональными операторами разрабатываются регламентные требования к подрядным организациям при выходе на объекты капитального ремонта, предъявляемые для контролируемого уровня производственных рисков. Эти риски напрямую связаны с отсутствием обязательной разрешительной документации, безопасностью не только персонала, но и населения, а также имущества и окружающей среды.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Разработка и актуализация нормативно-методических документов в области ремонтно-строительного производства с учетом безопасных условий труда базируются на результатах верифицированных научных исследований. Однако при разработке новых технологий или совершенствовании организационно-технологических процессов не всегда проводятся исследования, связанные с вопросами охраны труда [1–6]. Наиболее значительны работы, развивающие научные подходы и решения в части обеспечения пожарной безопасности, что нашло отражение в ряде публикаций [7–9].

При организации объекта капитального ремонта вопросы безопасности рассматриваются применительно как к территории строительной площадки, так и обустройству бытовых городков (БГ) [10–13].

Согласно Регламенту «Требования, предъявляемые к подрядным организациям при выходе на объект капитального ремонта ФКР Москвы» территория БГ обустраивается подрядной или субподрядной организацией до начала производства работ за собственный счет, и предусматривает устройство и комплектование штаба строительства; помещений для размещения инженерно-технических работников; бытовых помещений для рабочих; поста оказания первой помощи с комплектацией объекта строительства медицинскими аптечками и носилками; помещениями для сушки одежды, приема пищи преимущественно в зданиях контейнерного типа. С точки зрения электробезопасности в данных помещениях не допускается эксплуатация электронагревательных и электрообогревательных приборов не заводского изготовления.

В соответствии с нормами обустройства БГ на объектах капитального ремонта Фонда капитального ремонта (ФКР) Москвы помещение штаба объекта капитального ремонта оборудуется щитом «Охрана труда» (рис. 1).



Рис. 1. Пример оформления щита по охране труда

Fig. 1. An example of the design of a shield for labor protection

Этими же нормами при размещении временных бытовых помещений в зданиях контейнерного типа предусмотрено, что необходимо обеспечить наличие инвентарных защитных ограждений в зонах перепадов по высоте, лестниц и трапов, также оборудованных защитным ограждением с двух сторон. Требуется постоянное поддержание санитарных норм чистоты и не допускается проживание работников в БГ объекта капитального ремонта.

Нормами обустройства БГ на объектах капитального ремонта ФКР Москвы предусмотрены обязательные временные ограждения и баннеры. Ограждать необходимо: территории БГ (ограждение должно быть правильной геометрической непрерывной формы); участки с вредными или опасными производственными факторами; участки для хранения материальных ценностей организации (не допускается хранение материалов вне территории); баннеры с дизайном ФКР должны быть закреплены на ограждении, не допускаются провисы и не закрепленные участки.

При согласованной установке БГ на несколько МКД следует предусмотреть потребность в санитарно-бытовых и административных помещениях, исходя из расчетной численности работающих на стройплощадке в соответствии с актуализированной редакцией СНиП 2.09.04-87* «Административные и бытовые здания».

Площадь бытовых помещений или помещений общественного питания стоит рассчитывать не менее одного помещения площадью 18 м² на каждые двадцать человек. Бытовая зона должна быть оснащена санитарной кабиной (биотуалетом), требуется учитывать не менее одной кабины на каждые десять человек. Договор на аренду санитарной кабины должен находиться на строительном объекте, в прорабской. Необходимо наличие контейнерной площадки для утилизации строительного мусора и бытовых отходов. Территория БГ должна быть очищена от снега, листвы, бытового и строительного мусора.

Нормы организации быта строителей учитывают максимальное расстояние до рабочего места 500 м (лучше до 200 м); минимальное расстояние от бытовок до проезжей части — 1,5 м (зависит от габаритов автомобилей).

Обязательными требованиями являются наличие в штабе капитального ремонта следующих документов:

- 1) проектно-сметной документации;
- 2) договора подряда;
- 3) графика производства работ;
- 4) списка сотрудников с копиями паспортов;
- 5) приказов на ответственных;
- 6) журнала производства работ;
- 7) журнала авторского надзора;
- 8) журнала входного контроля материалов;
- 9) журнала приема населения;

10) копии договора страхования гражданской ответственности перед третьими лицами;

11) журнала инструктажа по технике безопасности и охране труда;

12) комплекта документов, разрешающих производство работ на высоте;

13) комплекта документов, касающихся электробезопасности.

Специальные требования предъявляются к складированию материалов.

На складе делают проходы 1 м шириной (минимум). Ширина проезда зависит от габаритов автомобиля, обслуживающего склад. С прохода должна быть видна заводская маркировка материала. Также должны соблюдаться технические условия хранения материалов, предусмотренные производителем:

- открытые — для материалов, которым не нужна защита от мороза и осадков: плиты из железобетона, кирпичи, песок и др.;

- полужакрытые (навесы) — для материалов, которые нуждаются в защите от осадков: металл, утеплители, пиломатериалы;

- закрытые — для материалов, которым нужна защита от мороза и для тех, которые нуждаются в охране: электрика, сантехника, цемент, гипс, спецодежда, облицовочные материалы и др.;

- специальные — для опасных веществ: ГСМ, взрывчатые вещества, химреактивы.

Склады горючих газов представляют особую опасность. Баллоны, наполненные газами и газовыми смесями, хранят в специальных складских помещениях или на открытых площадках под навесом, защищающим их от атмосферных осадков и прямых солнечных лучей. Боковые штуцеры вентилей баллонов, наполненных газами высокой чистоты, газовыми смесями на их основе, а также смесями, содержащими токсичные или горючие компоненты, должны быть герметично закрыты металлическими заглушками. Допускается совместное хранение на открытых площадках баллонов с различными продуктами разделения воздуха, а также совместно с баллонами, наполненными горючими газами, при условии отделения площадок для хранения баллонов с различными продуктами разделения воздуха друг от друга несгораемыми барьерами высотой 1,5 м, а от площадок для хранения баллонов с горючими газами — несгораемыми защитными стенками высотой не менее 2,5 м.

Особое внимание уделяется требованиям пожарной безопасности с учетом условий повышенной стесненности производства ремонтно-строительных работ в эксплуатируемом здании и размещении БГ на прилегающей к нему благоустроенной территории. Цель нормативных актов — максимально снизить риск появления пожаров и минимизировать тяжесть последствий.

Минимальные расстояния между строительными бытовками регламентируются соответствующи-

ми нормами (НПБ 110-03) и правилами (ППБ 01-03) пожарной безопасности, которые разработаны МЧС РФ и действительны для всех российских регионов. Главные требования пожарной безопасности касаются расстояний между бытовками, вариантов электроснабжения и материалов, которые используются при изготовлении мобильных зданий.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Стесненные условия для организации строительной площадки и БГ при проведении работ по капитальному ремонту зданий в условиях плотной городской застройки на урбанизированных территориях влечет за собой создание на длительный период времени дискомфорта условий проживания в капитально ремонтируемых жилых домах, угрозу безопасности не только работников подрядных ремонтно-строительных организаций, осуществляющих капитальный ремонт, но и собственников (арендаторов) помещений в ремонтируемых МКД (рис. 2) [14, 15].

С учетом положений Градостроительного кодекса РФ, предусматривающих возможность передачи подрядным организациям в аренду на время проведения работ на объекте земельных участков за пределами землеотвода, целесообразно применять эти возможности при организации площадок капитального ремонта жилых зданий без отселения проживающих, поскольку размещение на земельном участке, относящемся к капитально отремонтируемому зданию БГ, влечет создание дискомфортных условий для проживающих из-за использования подрядными организациями рекреационных зон, детских и хозяйственных площадок, внутридворовых парковочных пространств и др. Кроме того, практика показывает, что подрядчикам, как правило, не хватает для регламентированных нормами и правилами организации площадки территорий ремонтируемых домовладений, что негативно сказывается на обеспечении требований по безопасности труда при организации ремонтно-строительных работ. Это определяет главную специфическую особенность разработки проекта организации ремонтно-строительной площадки — необходимость учета стесненности площадок и БГ.

Под стесненностью площадок понимают ограничение возможности эффективного использования средств механизации, материалов, изделий, конструкций, а также рациональной организации площадки из-за наличия единичных препятствий или их совокупности. Эти вопросы подробно рассмотрены в проведенных ранее исследованиях [17].

На основании обобщения проведенных исследований и предложений на их основе [18–20] коэффициент, характеризующий степень стесненности площадки K_c , определяют по формуле:



Рис. 2. Фотофиксация организации площадок капитального ремонта общего имущества МКД без разработки проекта организации ремонтно-строительной площадки [16]

Fig. 2. Photofixation of the organization of sites for capital repairs of the common property of an apartment building without developing a project for the organization of a repair and construction site [16]

$$K_c = \frac{(S_c - S_3)}{S_{\text{п.о.р.п}}},$$

где S_c — общая площадь здания с прилегающими территориями (площадь домовладения в границах землеотвода); S_3 — площадь, занятая капитально ремонтируемым зданием (пятно застройки); $S_{\text{п.о.р.п}}$ — площадь, необходимая подрядчику для организации ремонтной площадки.

При значении $K_c > 2,5$ фактор стесненности можно не учитывать, при $K_c = 1-2,5$ — стесненные условия производства работ, при $K_c < 1$ — особо стесненные условия производства работ.

В таблице приведены данные, полученные по результатам обследования ряда ремонтно-строительных площадок для капитально ремонтируемых МКД по региональной программе г. Москвы.

Результаты обследования ряда ремонтно-строительных площадок для капитально ремонтируемых многоквартирных жилых домов по региональной программе г. Москвы

The results of a survey of a number of repair and construction sites for capitally renovated multi-apartment residential buildings under the regional program of Moscow

Идентификатор объекта, номер Object ID, number	S_c	S_3 S_{build}	$(S_c - S_3)$ $(S_c - S_{\text{build}})$	$S_{\text{п.о.р.п}}$ $S_{\text{с.о.р.п}}$	$K_c = \frac{(S_c - S_3)}{S_{\text{п.о.р.п}}}$ $K_c = \frac{(S_c - S_{\text{build}})}{S_{\text{с.о.р.п}}}$
1	1300	718	582	190	3,06
2	1200	620	580	166	3,5
3	850	480	370	154	2,4
4	1150	804	346	168	2,1
5	940	510	430	128,2	3,35
6	1250	678	572	182	3,14
7	1028	714	314	152,4	2,1

Анализ выборочного контроля условий стесненности площадок для обустройства БГ при выполнении работ по капитальному ремонту показал, что особо стесненные условия ($K_c < 1$) практически отсутствуют, наиболее часто встречаются случаи стесненности для организации БГ в условиях строительной площадки ($K_c = 1-2,5$), а в ряде случаев по принятым критериям оценка стесненности отсутствует ($K_c > 2,5$). Для получения более информативной картины необходимо вести наблюдения с формированием базы данных для статистической обработки и прогнозирования принятия организационно-технологических решений.

Таким образом, даже если в результате проведенных расчетов установлено, что коэффициент стесненности ремонтной площадки $K_c > 2,5$, т.е. стесненность площадки можно не учитывать, и при обследовании прилегающих территорий выявлена возможность размещения БГ в пределах шаговой доступности на прилегающей территории, этот вариант является наиболее предпочтительным. Площадка, находящаяся вне границ домовладений, минимизирует дискомфорт для собственников, арендаторов помещений и жильцов в ремонтируемом МКД.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для выяснения возможности размещения городка в границах площадки капитального ремонта

необходимо определить степень ее стесненности. В зависимости от полученных результатов могут быть приняты различные управленческие решения, которые напрямую связаны с обеспечением безопасных условий труда при производстве ремонтно-строительных работ с соблюдением требований нормативных документов обязательного характера.

Невозможность установки на длительное время стационарных ограждений представляет угрозу безопасности не только жителям капитально ремонтируемых домов, арендаторам и эксплуатирующим организациям, но и тем, кто перемещается в зонах проведения ремонтно-строительных работ (например, при ремонте фасадов, балконов). Поэтому наиболее рациональным решением служит вынос большинства элементов проекта организации ремонтно-строительной площадки (открытые и закрытые склады, административно-бытовые и подсобно-вспомогательные здания и сооружения, места стоянки машин и механизмов, производственные мастерские и др.) за пределы площадки капитального ремонта, расположенной непосредственно в границах землеотвода капитально ремонтируемых зданий на заранее подготовленные территории, переданные подрядным организациям в аренду на время проведения ремонтно-строительных работ.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Король О.А.* Концептуальные основы формирования нормативной базы капитального ремонта общего имущества многоквартирных жилых домов // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2018. № 11 (1011). С. 20–21.
2. *Korol O.A.* Development of the methodology of calendar planning in the system of organizational and technological preparation of capital repair of multi-apartment residential houses // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1425. Issue 1. P. 012086. DOI: 10.1088/1742-6596/1425/1/012086
3. *Korol O., Kustikova Y., Antoniadis V.* Analysis of the efficiency of works at capital repair of civil buildings // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 869. Issue 6. P. 062040. DOI: 10.1088/1757-899X/869/6/062040
4. *Korol E.A., Petrosyan R.S.* Methodological approaches to the formation of the organizational and technological mechanism for improving the manufacturability of work during the overhaul of buildings // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 753. Issue 3. P. 032057. DOI: 10.1088/1757-899X/753/3/032057
5. *Degaev E., Rimshin V., Borkovskaya V., Shubin I.* Quality risks and logistics processes in

major repairs of buildings // E3S WEB of Conferences. 2020. Vol. 157. P. 06024. DOI: 10.1051/e3s-conf/202015706024

6. *Fatullaev R.* Modeling and assessment of a multi-apartment residential house with a planned overhaul // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 110. P. 02157. DOI: 10.1051/e3sconf/201911002157

7. *Eremina T., Korolchenko D., Portnov F.* Methodology for optimizing the study of fire-retardant compositions for building materials and structures // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 1001. Issue 1. P. 012018. DOI: 10.1088/1757-899X/1001/1/012018

8. *Eremina T., Korolchenko D., Minailov D.* Assessment methods for fire durability of intumescent fire protection coatings // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 960. Issue 3. P. 032038. DOI: 10.1088/1757-899X/960/3/032038

9. *Eremina T., Korolchenko D.* Fire protection of building constructions with the use of fire-retardant intumescent compositions // Buildings. 2020. Vol. 10. Issue 10. P. 185. DOI: 10.3390/buildings10100185

10. *Олейник П.П., Степанов И.В.* Мобильные здания в строительстве. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1985. 136 с.

11. Олейник П.П., Бродский В.И. Организация строительной площадки : учеб. пособие. М. : МГСУ, 2014. 80 с.

12. Олейник П.П., Бродский В.И., Кузьмина Т.К. Организационные формы мобильного строительства : учеб. пособие. М. : Изд-во АСВ, 2015. 84 с.

13. Oleinik P.P., Grigoryeva L.S., Brodsky V.I. Outstripping engineering preparation of construction sites // *Applied Mechanics and Materials*. 2014. Vol. 580–583. Pp. 2294–2298. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amm.580-583.2294

14. Шрейбер К.К. Рекомендации по совершенствованию организационно-технологической подготовки капитального ремонта многоквартирных домов // *Промышленное и гражданское строительство*. 2019. № 11. С. 50–55. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.11.50-55

15. Шрейбер К.А., Шрейбер К.К. Организационно-технологическая подготовка мероприятий по обеспечению надежности зданий // *Промышленное и гражданское строительство*. 2020. № 3. С. 42–46. DOI: 10.33622/0869-7019.2020.03.42-46

16. Шрейбер К.К. Совершенствование организационно-технологической подготовки капитального ремонта общего имущества в многоквартирных домах : дис. ... канд. техн. наук. М., 2021. 23 с.

17. Шрейбер К.А. Технология и организация ремонтно-строительного производства. М. : Изд-во АСВ, 2008. 296 с.

18. Олейник П.П., Олейник С.П. Прогрессивные организационные решения подготовительного периода строительства : учеб. пособие. М. : МГСУ, 2008. 94 с.

19. Шрейбер К.А. Технология производства ремонтно-строительных работ. М. : Изд-во АСВ, 2014. 264 с.

20. Шрейбер К.К., Король Е.А. Теоретические аспекты формирования нормативно-методической базы капитального ремонта общего имущества многоквартирных домов // *Вестник МГСУ*. 2019. Т. 14. № 11 (134). С. 1473–1481. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.11.1473-1481

Поступила в редакцию 10 августа 2022 г.

Принята в доработанном виде 12 августа 2022 г.

Одобрена для публикации 12 августа 2022 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;

Рима Сергеевна Петросян — преподаватель кафедры жилищно-коммунального комплекса; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 8838-9734, Scopus: 57202812669, ResearcherID: ABG-4667-2020, ORCID: 0000-0002-6243-0482; PetrosyanRS@mgsu.ru.

Вклад авторов:

Король Е.А. — идея, научное редактирование, нормативно-методическое обеспечение.

Петросян Р.С. — написание статьи, подготовка итоговых выводов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Korol O.A. Conceptual foundations of the regulatory framework of capital repairs of common property in apartment houses. *BST: Bulletin of Construction Equipment*. 2018; 11(1011):20-21. (rus.)

2. Korol O.A. Development of the methodology of calendar planning in the system of organizational and technological preparation of capital repair of multi-apartment residential houses. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019; 1425(1):012086. DOI: 10.1088/1742-6596/1425/1/012086

3. Korol O., Kustikova Y., Antoniadi V. Analysis of the efficiency of works at capital repair of civil buildings. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020; 869(6):062040. DOI: 10.1088/1757-899X/869/6/062040

4. Korol E.A., Petrosyan R.S. Methodological approaches to the formation of the organizational and technological mechanism for improving the manufacturability of work during the overhaul of buildings. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020; 753(3):032057. DOI: 10.1088/1757-899X/753/3/032057

5. Degaev E., Rimshin V., Borkovskaya V., Shubin I. Quality risks and logistics processes in major repairs of buildings. *E3S WEB of Conferences*. 2020; 157:06024. DOI: 10.1051/e3sconf/202015706024

6. Fatullaev R. Modeling and assessment of a multi-apartment residential house with a planned overhaul. *E3S Web of Conferences*. 2019; 110:02157. DOI: 10.1051/e3sconf/201911002157
7. Eremina T., Korolchenko D., Portnov F. Methodology for optimizing the study of fire-retardant compositions for building materials and structures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020; 1001(1):012018. DOI: 10.1088/1757-899X/1001/1/012018
8. Eremina T., Korolchenko D., Minailov D. Assessment methods for fire durability of intumescent fire protection coatings. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020; 960(3):032038. DOI: 10.1088/1757-899X/960/3/032038
9. Eremina T., Korolchenko D. Fire protection of building constructions with the use of fire-retardant intumescent compositions. *Buildings*. 2020; 10(10):185. DOI: 10.3390/buildings10100185
10. Oleinik P.P., Stepanov I.V. *Mobile buildings in construction*. 2nd edition, revised and enlarged. Moscow, Stroyizdat Publ., 1985; 136. (rus.).
11. Oleinik P.P., Brodsky V.I. *Construction site organization : textbook*. Moscow, MGSU, 2014; 80. (rus.).
12. Oleinik P.P., Brodsky V.I., Kuzmina T.K. *Organizational forums for discussing construction : textbook*. Moscow, ASV Publishing House, 2015; 84. (rus.).
13. Oleinik P.P., Grigoryeva L.S., Brodsky V.I. Outstripping engineering preparation of construction sites. *Applied Mechanics and Materials*. 2014; 580-583:2294-2298. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amm.580-583.2294
14. Schreiber K.K. Recommendations for improvement of organizational and technological preparation of overhaul of apartment buildings. *Industrial and Civil Engineering*. 2019; 11:50-55. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.11.50-55 (rus.).
15. Shreiber K.A., Shreiber K.K. Organizational and technological preparation of measures to ensure the reliability of buildings. *Industrial and Civil Engineering*. 2020; 3:42-46. DOI: 10.33622/0869-7019.2020.03.42-46(rus.).
16. Schreiber K.K. *Improving the organizational and technological preparation for the overhaul of common property in apartment buildings : abstract of the dissertation ... candidate of technical sciences*. Moscow, 2021; 23. (rus.).
17. Schreiber K.A. *Technology and organization of repair and construction production*. Moscow, ASV Publishing House, 2008; 296. (rus.).
18. Oleinik P.P., Oleinik S.P. *Progressive organizational solutions for the study of the construction period : textbook*. Moscow, MGSU, 2008; 94. (rus.).
19. Schreiber K.A. *Technology for the production of repair and construction works*. Moscow, ASV Publishing House, 2014; 264. (rus.).
20. Schreiber K.K., Korol E.A. Theoretical aspects of normative and methodological basis formation for flat building common property overhaul. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2019; 14(11):1473-1481. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.11.1473-1481 (rus.).

Received August 10, 2022.

Adopted in revised form on August 12, 2022.

Approved for publication on August 12, 2022.

B I O N O T E S: **Elena A. Korol** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Housing and Communal Services; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 678276, Scopus: 57197844794, ResearcherID: C-2635-2019, ORCID: 0000-0002-5019-3694; KorolEA@mgsu.ru;

Rima S. Petrosyan — Lecturer of the Department of Housing and Communal Services; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 8838-9734, Scopus: 57202812669, ResearcherID: ABG-4667-2020, ORCID: 0000-0002-6243-0482; PetrosyanRS@mgsu.ru.

Contribution of the authors:

Elena A. Korol — concept, scientific editing, normative and methodological support.

Rima S. Petrosyan — writing the text of the article, preparation of final conclusions.

The authors declare that there is no conflict of interests.

ГИДРАВЛИКА. ГЕОТЕХНИКА. ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 624.137.5

DOI: 10.22227/1997-0935.2022.8.1054-1063

Нестационарная задача влагопереноса в стене в грунте с учетом глинистой корки

Завен Григорьевич Тер-Мартirosян¹, Виктор Васильевич Бахмисов^{1,2}

¹ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия;

² НИИОСП им. Герсеванова — АО «НИЦ «Строительство»; г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Стена в грунте имеет значительное распространение в практике строительства подземных сооружений в глубоких котлованах благодаря высоким конструктивным качествам и технологичности изготовления. К ее конструктивным достоинствам следует отнести водонепроницаемость и высокую жесткость. Однако на последний фактор влияют такие реологические деформации бетона, как ползучесть и усадка, учет которых для конструкций, изготовленных и работающих в грунтовых условиях, на данном этапе изученности вопроса не получил достаточного внимания. Расчет влажностных полей в конструкции железобетонной стены в грунте траншейного типа является необходимым для определения таких реологических параметров бетона, как деформации ползучести и усадки.

Материалы и методы. Основное решение получено методом разложения в тригонометрический ряд Фурье, использованы сведения по диффузионным свойствам материалов, установленные в ходе обзора.

Результаты. В результате решения задачи транспорта влаги в теле стены в грунте с учетом глинистой корочки на контакте с грунтом установлено, что относительная влажность воздуха порового пространства бетона снижается во времени крайне медленно, принимая линейное распределение лишь на 48 год после откопки стены в грунте. На глубине 20 см влажность упала до 92 % на 365 сутки и до 82 % через 3 года. На шестой год высушивание бетона атмосферным воздухом отражается на контакте с глинистой корочкой и продолжается до 48 года, где относительная влажность бетона принимает установившееся значение 69 %.

Выводы. Анализ точного решения показывает существенное влияние глинистой корочки на скорость высушивания бетона стены в грунте. Низкая диффузионная проницаемость корочки ускоряет высушивание бетона. При коэффициенте диффузии глинистой корочки $15,6 \cdot 10^{-8}$ м²/сут ее влияние проявляется на глубоких слоях спустя 3 года. Для приповерхностных участков более значима относительная влажность воздуха в котловане.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: стена в грунте, глинистая корочка, влагоперенос, бетон, бентонит, диффузия, метод Фурье, относительная влажность воздуха

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Тер-Мартirosян З.Г., Бахмисов В.В. Нестационарная задача влагопереноса в стене в грунте с учетом глинистой корки // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 8. С. 1054–1063. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.8.1054-1063

Автор, ответственный за переписку: Виктор Васильевич Бахмисов, bahmisov7@live.com.

A non-stationary problem of moisture transport in a diaphragm wall with account taken of filter cake

Zaven G. Ter-Martirosyan¹, Viktor V. Bakhmisov^{1,2}

¹ Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation;

² Gersevanov Research Institute of Bases and Underground Structures (NIIOSP) — “Research Center
of Construction” JSC; Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The analysis of moisture fields in a diaphragm wall is needed to determine such rheological parameters of concrete as creep and shrinkage deformations.

Materials and methods. In the paper, the main solution was obtained by expansion into the trigonometric Fourier series using data on diffusion properties of materials identified by reviewing the studies.

Results. By solving the problem of moisture transport in the diaphragm wall, taking into account filter cake, the authors found out that the relative humidity in the concrete pore space decreases extremely slowly over time. Linear distribution is achieved only 48 years after the excavation of the diaphragm wall. At a depth of 20 cm, humidity dropped to 92 % on day 365 and to 82 % after 3 years. In the 6th year, the drying of concrete by the atmospheric air affects the boundary with filter cake and continues until the 48th year, when the relative humidity of concrete takes a steady value of 69 %.

Conclusions. The analysis of the accurate solution shows a strong effect of filter cake on the drying rate of the diaphragm wall. Low diffusion permeability of filter cake accelerates the drying of concrete. Given that the coefficient of diffusion of filter cake is $15.6 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{day}$, its effect manifests itself in deep layers after 3 years. Relative humidity of air in a trench is more significant for near-surface areas.

KEYWORDS: diaphragm wall, filter cake, moisture transport, concrete, bentonite, diffusion, Fourier method, relative air humidity

FOR CITATION: Ter-Martirosyan Z.G., BakhmisoV V.V. A non-stationary problem of moisture transport in a diaphragm wall with account taken of filter cake. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2022; 17(8):1054-1063. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.8.1054-1063 (rus.).

Corresponding author: Viktor V. BakhmisoV, bahmisoV7@live.com.

ВВЕДЕНИЕ

Стена в грунте имеет значительное распространение в практике строительства подземных сооружений в глубоких котлованах благодаря высоким конструктивным качествам и технологичности изготовления. К ее конструктивным достоинствам следует отнести водонепроницаемость и высокую жесткость. Однако на последний фактор влияют такие реологические деформации бетона, как ползучесть и усадка, учет которых для конструкций, изготовленных и работающих в грунтовых условиях, на данном этапе изученности вопроса не получил достаточного внимания.

Известно, что основным фактором, влияющим на указанные деформации бетона, является влажность бетона, которая характеризуется относительной влажностью воздуха порового пространства, стремящегося к равновесию с окружающей средой. Относительная влажность воздуха окружающей среды определяется по соответствующим гидравлическим моделям неводонасыщенной грунтовой среды З.Г. Тер-Мартirosяном, В.В. Бахмисовым [1]. В труде [2] авторами показано, что для стены в грунте, в отличие от надземных конструкций, существенна также технология изготовления, так как между грунтом и бетоном при применении бентонитового раствора образуется глинистая корочка с низкой гидравлической проводимостью.

Подробно разобрал фазы устройства стены в грунте, включая откопку траншеи под защитой глинистой суспензии и ее роль в обеспечении устойчивости стенок траншеи, Р. Xanthakos [3]. В диссертации, посвященной определению сил бокового трения баретт, В.Д. Иванов [4] изучил технологию «стена в грунте», применяющиеся глинистые растворы и образующуюся в процессе фильтрации глинистую корку. Отдельно формирование и свойства бентонитовой корки рассмотрены Л.В. Henry и соавт. [5].

В ходе работ по устройству противофильтрационной глиноцементной завесы J. Carreto и соавт. [6] исследовали в числе прочего вопросы фильтрации и загрязнения глинистого раствора песчаными частицами в процессе разработки траншеи. Реологическим свойствам бентонитового раствора посвящена публикация G.M. Filz и соавт. [7], а K. Nash [8] анализировал процессы формирования глинистой корочки, типичные составы глинистого раствора и гру-

бину проникновения раствора в грунт. А. Soroush и M. Soroush [9] изучили зависимость толщины глинистой корки от времени в зависимости от количества бентонита, цемента и добавок в бентонитовой суспензии, с учетом наличия или отсутствия регенерации раствора.

В работе J. Chung, D.E. Daniel и соавт. [10] рассмотрены методы определения гидравлической проницаемости бентонитовой корки, в трудах T.B. Nguyen и соавт. [11–14] и Z. Zizka и соавт. [15] — ее гидравлическая проницаемость. D’Appolonia [16] изучил гидравлическую проницаемость противофильтрационной завесы, изготовленной в траншее под защитой глинистого раствора, при устройстве которой также формируется глинистая корочка.

Отдельно были исследованы параметры диффузии глинистой корочки R.A. Freeze и J.A. Cherry [17], J. Park и соавт. [18], C. Lake и R. Rowe [19], а в исследовании H. Choi и соавт. [20] эти данные были применены для моделирования переноса загрязняющих веществ через глиноцементную завесу, выполненную по технологии «стена в грунте».

Учитывая значительную толщину стены в грунте, составляющую обычно от 0,6 до 1,2 м, указанные факторы приводят к необходимости расчета распределения влажности в бетонном сечении для определения изменения реологических параметров деформирования во времени и по толщине конструкции.

В статье Z. Vařant и соавт. [21] указывается, что зависимость между коэффициентом диффузии влаги в бетоне в зависимости от его влажности сильно нелинейна в диапазоне 0,6–0,9, а в публикации [22] сформулированы уравнения сорбции и десорбции бетона, учитывающие зависимость его диффузионной способности от влажности пор, температуры и степени гидратации. Подробно рассмотрена проблема влагопереноса в бетоне в обобщающей работе Z. Vařant [23], включая модель влагопереноса на основе градиента относительной влажности воздуха порового пространства.

Практические вопросы инженерных расчетов железобетонных конструкций на изменение температуры и влажности с учетом ползучести бетона рассмотрел С.В. Александровский [24]. Была предложена модель влагопереноса, основанная на гради-

енте весовой влажности бетона. Отдельное внимание было уделено аналитическим методам расчета влажностных полей в теле бетонных конструкций, включая массивные плиты, покрытые по одному краю относительно проницаемой опалубкой.

Методы расчета влажности ограждающих частей здания в процессе сорбции и при максимальном влагосодержании разрабатывал А. У. Франчук [25], автор предложил практические методы расчета влагопереноса на основе термо- и гидродинамического принципов. Исследованиями в области влагопереноса в ограждающих стенах занимались К. В. Аксенчика и К. В. Шестаков [26], М. А. Газиев [27], А. В. Жуков и соавт. [28], С. В. Корниенко [29, 30] и А. Г. Перехоженцев [31], однако специфика подземных конструкций, и в частности стены в грунте, авторами не рассматривалась, что подчеркивает актуальность проблемы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Fib model code [32] рекомендует для условий неполного водонасыщения применять модель диффузии в изотермических условиях Vařant-Najjar [21]. Согласно данной модели, перенос влаги в частично водонасыщенном бетоне осуществляется по следующему закону:

$$\dot{h} = k(h, t_e) \nabla \cdot [C_p(h, t_e) \nabla h] + h_s^*(h, t_e), \quad (1)$$

где h — влажность бетона, д. е.; $k(h, t_e)$ — обратная влагоемкость, характеризующая обратный наклон изотермы сорбции; ∇ — оператор Набла, определяемый как

$$\nabla = \left\{ \frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z} \right\}; \quad (2)$$

t_e — эквивалентный возраст; C_p — влагопроницаемость; h_s^* — доля изменения влажности от самовысыхания, обусловленная захватом воды на химические реакции в бетоне.

Определение функций $k(h, t_e)$, $C_p(h, t_e)$ и $h_s^*(h, t_e)$ — достаточно сложная задача, поэтому некоторые исследователи вводят упрощение, основанное на следующих выводах результатов исследований [21].

1. Опыты показывают, что потеря влаги от самовысыхания очень незначительна для бетонов нормальной прочности, т. е. невысокопрочных, без добавок с водоцементным соотношением В/Ц = 0,45. Если обратиться к результатам измерений, на которых основано данное допущение, то отмечается, что обычно влажность бетона снижается до ~0,98 и никогда не опускается ниже 0,93. Поэтому в таких условиях исследователи обычно опускают данный член уравнения (1).

2. В указанных бетонах также можно пренебречь эволюцией микроструктуры, что дает возможность не учитывать зависимость влагоемкости k и проницаемости C_p от эквивалентного возраста t_e .

Тогда уравнение принимает упрощенный вид:

$$\dot{h} = k(h) \nabla \cdot [C_p(h) \nabla h]. \quad (3)$$

Если влагоемкость k является постоянной, т. е. если изотерма сорбции влаги аппроксимируется прямой линией, то уравнение можно упростить до

$$\dot{h} = \nabla \cdot [C(h) \nabla h], \quad (4)$$

где $C(h)$ — коэффициент диффузии влаги, зависящий только от влажности бетона, определяемый по следующей зависимости:

$$C(h) = kc_p(h). \quad (5)$$

Начальная относительная влажность воздуха в порах бетона h_0 составляет 100 %, но быстро незначительно снижается за счет гидратации цемента (эффект самовысыхания) до 98 % [23]. Отмечается, что бетонный образец в герметичных условиях снижал свою влажность в порах до 97 % через 1 месяц, 95 % через 6 месяцев и 93 % через 2 года [33]. Таким образом, можно сделать вывод, что обычно бетон находится только в условиях десорбции, что позволяет принять для расчетов постоянную величину изотермы десорбции $k = \text{const}$.

Также известно, что коэффициент диффузии C можно считать постоянным, когда начальная относительная влажность атмосферы бетона h_0 и окружающей среды $h_{\text{опр}}$ лежит в диапазонах 0–65 % и 85–100 %. Однако в нашем случае для получения аналитического решения мы примем коэффициент диффузии постоянным во всем диапазоне значений относительной влажности. Тогда уравнение (4) принимает вид:

$$\dot{h} = C \nabla^2 h. \quad (6)$$

В случае с конструкцией типа стены в грунте, ввиду ее протяженности можно рассматривать одномерный случай диффузии влаги в бетоне. Тогда уравнение (6) приводится к следующему виду одномерного нестационарного уравнения диффузии при постоянном коэффициенте пористости в материале:

$$\frac{\partial}{\partial t} h(x, t) = C \frac{\partial^2}{\partial x^2} h(x, t). \quad (7)$$

Здесь следует напомнить, что стена в грунте в основном всегда выполняется под защитой бетонитового раствора, что формирует на ее контакте с грунтом глинистую корочку. При откопке котлована глинистая корочка окажется только на одной стороне, поэтому данную задачу необходимо рассматривать как два идеально соприкасающихся слоя ограниченной толщины, а именно слой глинистой корочки и слой бетона. На их границах будут действовать условия окружающей среды в виде отно-

сительной влажности воздуха атмосферы с одной стороны и грунтовой среды с другой.

С математической точки зрения приведенные условия соответствуют граничным условиям Дирихле с начальным условием и равенством потока на границе соприкосновения слоев глинистой корочки и бетона. Тогда сформулируем задачу для математического решения.

Дано ограждение котлована, выполненное по технологии «стена в грунте» толщиной l с глинистой корочкой со стороны грунтовой среды толщиной δ и котлованом с другой. Грунтовая среда неводонасыщенная, имеет постоянную относительную влажность воздуха $h_{гр}$, большую, чем атмосферный воздух $h_{окр}$. В начальный момент времени, т.е. до откопки котлована, бетон имеет влажность h_0 , которая снижается до величины h за время t . Бетон и глинистая корочка имеют постоянные значения коэффициента диффузии $C_б$ и $C_к$ соответственно. На рис. 1 приведем расчетную схему.

Решение уравнения (7) получим разложением в тригонометрический ряд Фурье.

Начальные условия:

$$h(x, 0) = h_0. \tag{8}$$

$$\begin{cases} h_б(x, t) = H_б(x, t) + v_б(x, t) \\ H_б(x, t) = h(\delta, t) - \frac{x - \delta}{L - \delta} \cdot [h(\delta, t) - h_{окр}] \\ v_б(x, t) = \sum_{k=1}^n \frac{2}{\pi k} (h_{окр} - h_0) \cdot \cos\left(\pi k \frac{L}{l}\right) \cdot \sin\left(\pi k \frac{x - \delta}{l}\right) \cdot \exp\left[-t C_б \left(\frac{\pi k}{l}\right)^2\right] \end{cases}, \tag{15}$$

Граничные условия:

$$h(0, t) = h_{гр}; \tag{9}$$

$$h(L, t) = h_{окр}, \tag{10}$$

$$\text{где } L = l + \delta. \tag{11}$$

Условие сопряжения слоев:

$$-C_к \frac{\partial h_к}{\partial x}(\delta, t) = -C_б \frac{\partial h_б}{\partial x}(\delta, t). \tag{12}$$

Решение будем искать в виде суммы двух решений:

$$\begin{cases} h_к(x, t) = H_к(x, t) + v_к(x, t) \\ h_б(x, t) = H_б(x, t) + v_б(x, t) \end{cases}. \tag{13}$$

$$\begin{cases} h_к(x, t) = H_к(x, t) + v_к(x, t) \\ H_к(x, t) = h_{гр} - \frac{x}{\delta} \cdot [h_{гр} - h(\delta, t)] \\ v_к(x, t) = \sum_{k=1}^n \frac{2}{\pi k} (h_0 - h_{гр}) \cdot \sin\left(\pi k \frac{x}{\delta}\right) \cdot \exp\left[-t C_к \left(\frac{\pi k}{\delta}\right)^2\right] \end{cases}; \tag{14}$$

где $h(\delta, t)$ — условие сопряжения слоев, определяемое согласно выражению:

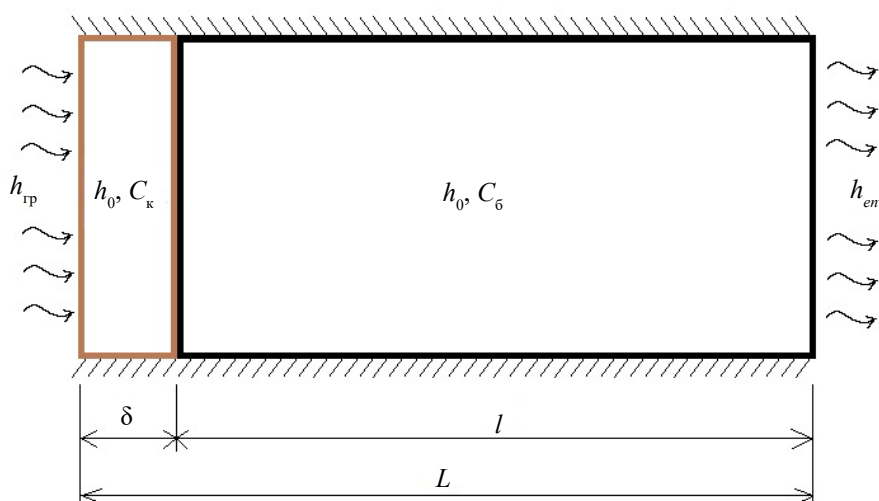


Рис. 1. Расчетная схема к нестационарной задаче влагопереноса в стене в грунте ограниченной толщины, покрытой слоем глинистой корочки

Fig. 1. The structural model for the non-stationary problem of moisture transport in a limited thickness diaphragm wall, covered with filter cake

$$h(\delta, t) = \frac{D_k l h_{гр} + D_6 \delta h_{окр}}{D_6 \delta + D_k l} - \frac{D_k \delta l}{D_6 \delta + D_k l} \sum_{k=1}^n \left[\frac{2}{\delta} (h_0 - h_{гр}) \cdot \cos(\pi k) \cdot \exp \left[-t C_k \left(\frac{\pi k}{\delta} \right)^2 \right] \right] + \frac{D_6 \delta l}{D_6 \delta + D_k l} \sum_{k=1}^n \left[\frac{2}{l} (h_{окр} - h_0) \cdot \cos \left(\pi k \frac{l}{l} \right) \cdot \exp \left[-t C_6 \left(\frac{\pi k}{l} \right)^2 \right] \right] \quad (16)$$

Полученное решение дает ответ в виде распределения по толщине сечения стены в грунте относительной влажности воздуха для заданного момента времени.

Для зрелых бетонов хорошего качества значение коэффициента диффузии при полном водонасыщении, т.е. при $h = 1, 0$, обозначают C_1 . Коэффициент диффузии зависит от влажности и может быть описан следующей зависимостью, предложенной в работе [21] и проиллюстрированной на рис. 2.

$$C(h) = C_1 \left(\alpha_0 + \frac{1 - \alpha_0}{1 + \left(\frac{1-h}{1-h_c} \right)^r} \right) \quad (17)$$

где α_0 — коэффициент отношения C при $h = 0$ к C при $h = 1, 0$

$$\alpha_0 = \frac{C(0)}{C(1)}; \quad (18)$$

h_c — относительная влажность воздуха в поровом пространстве бетона, соответствующая точке перегиба функции на графике зависимости функций $C(h)/C_1$ от h .

Согласно работам [21, 22], типичные значения α_0 составляют около 0,05, а значение h_c около 0,75. Стандарт Международной федерации по бетону Fib

Model Code For Concrete Structures 2010 [32] рекомендует принимать $\alpha_0 = 0,05$; $h_c = 0,8$; $r = 15$, а C_1 вычислять по следующей формуле:

$$C_1 = \frac{10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}^2}{\left(\frac{\bar{f}_c}{\text{МПа}} \right)^{-8}} \quad (19)$$

где \bar{f}_c — средняя прочность бетона при осевом сжатии стандартного цилиндрического образца в возрасте 28 суток.

К примеру, при классе прочности бетона В30, согласно BS EN 1992-1-1:2004¹, величина \bar{f}_c составляет 33 МПа, что дает значение $C_1 = 4,0 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с} = 3,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{сут}$.

В работе [17] выполнялись полевые фильтрационные работы, а в исследованиях [18, 19] — лабораторные, в рамках которых установлены гидравлические параметры глинистой корочки. В публикации [20] осуществлялось моделирование двумерной конечно-элементной задачи транспорта загрязняющих веществ через цементно-глинистую завесу, выполняемую по технологии «стена в грунте», для чего путем обзора указанных работ было определено, что коэффициент диффузии бентонитовой корочки C_k можно принять равным $15,6 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{сут}$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Рассмотрим стену в грунте толщиной $l = 1,0 \text{ м}$, выполняемую в грунте с относительной влажностью воздуха $h_{гр}$, равной 100 %, под защитой глинистого раствора из бетона классом по прочности на одноосное сжатие В30 с конечной толщиной глинистой корочки $\delta = 15 \text{ мм}$. Принимаем, что средняя относительная влажность атмосферного воздуха за расчетный период времени $h_{окр}$ составляет 65 %. Поскольку применяется обычный бетон, который укладывается в среду с относительной влажностью воздуха грунтовой среды, равной 100 %, то до момента откопки котлована можно считать бетон и глинистую корочку обладающими начальным значением относительной влажности атмосферы порового пространства h_0 , равного 1,0. Принимаем коэффициент диффузии бетона $C_6 = 3,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{сут}$ и коэффициент диффузии бентонитовой корочки:

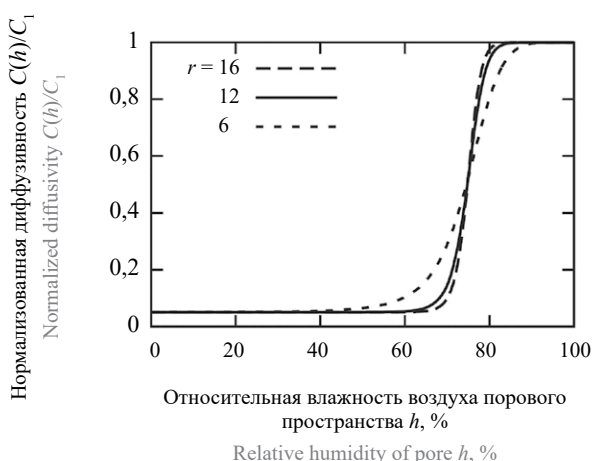


Рис. 2. Зависимость нормализованной диффузивности $C(h)/C_1$ от относительной влажности порового воздуха h при $\alpha_0 = 0,05$, $h_c = 0,75$ и различных значениях r [23]

Fig. 2. Dependence of normalized diffusivity $C(h)/C_1$ on relative humidity of pore air h at $\alpha_0 = 0,05$, $h_c = 0,75$ and different values of r (reprinted from [23])

¹ BS EN 1992-1-1:2004+A1:2014. Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings // BSI. 2008. 230 p.

$$C_k = 15,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{сут};$$

$$C_k = 15,6 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{сут};$$

$$C_k = 15,6 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{сут}.$$

Таким образом мы определили необходимое и достаточное количество исходных данных для решения нестационарной задачи влагопроводности. Приведем его результаты на рис. 3.

Анализируя график на рис. 3, *b*, можно отметить, что относительная влажность воздуха порового пространства бетона снижается во времени крайне медленно, принимая линейное распределение лишь на 48 год после откопки стены в грунте.

В первую очередь снижение влажности затронуло пограничные с атмосферным воздухом грани бетона. Это хорошо видно по характеру смещения графика во времени, где на глубине 20 см влажность упала до 92 % на 365 сутки и до 82 % через 3 года. На шестой год высушивание бетона атмосферным воздухом отражается на контакте с глинистой корочкой и продолжается до 48 года, где относительная влажность бетона принимает установившееся значение 69 %. Графики на рис. 3, *a, c* показывают соответственно более медленную и медленную скорость высушивания более глубоких слоев.

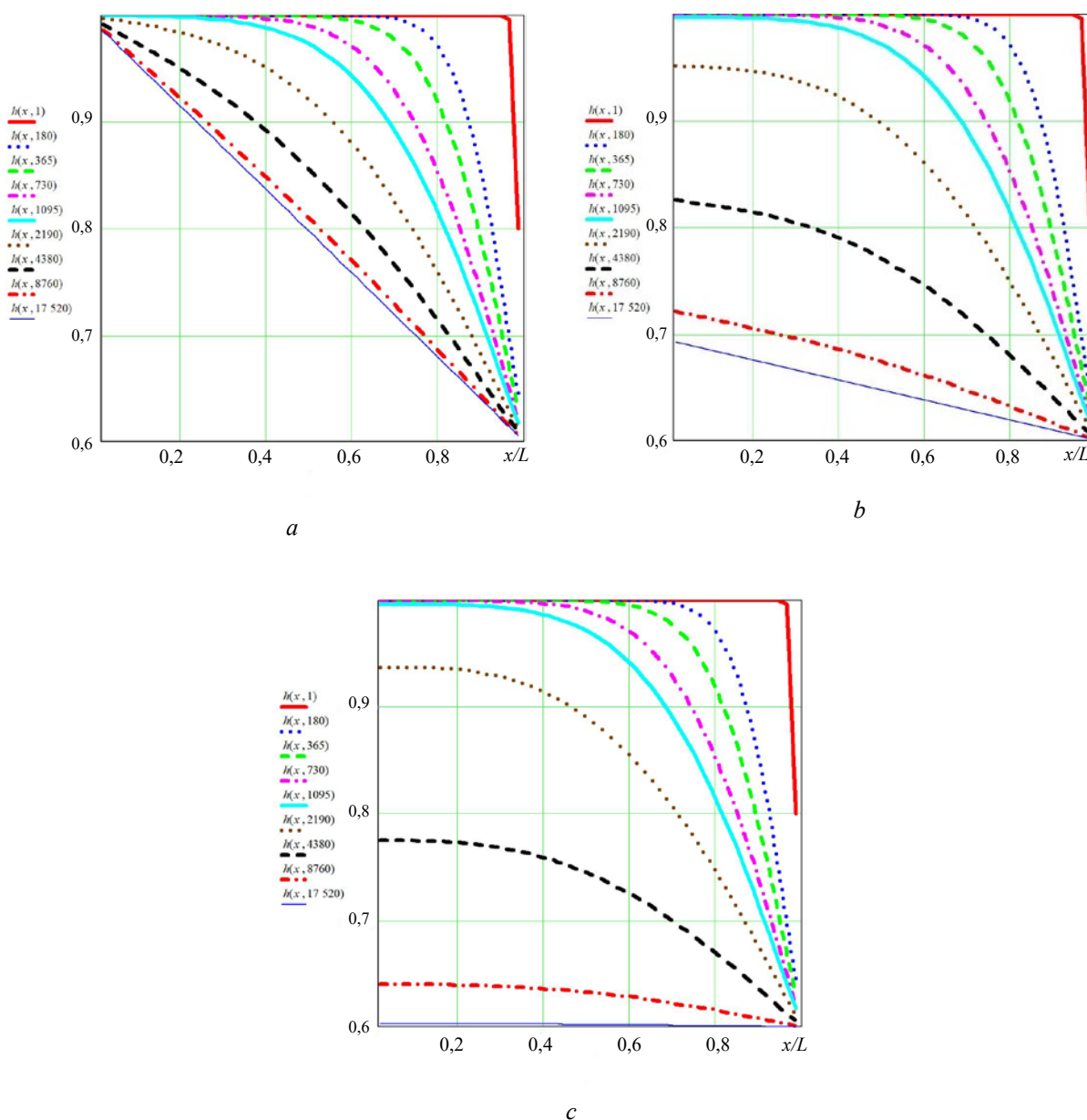


Рис. 3. Распределение относительной влажности воздуха порового пространства бетона во времени: *a* — $C_k = 15,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{сут}$; *b* — $C_k = 15,6 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{сут}$; *c* — $C_k = 15,6 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{сут}$

Fig. 3. Temporal distribution of relative humidity of air in concrete pores: *a* — $C_c = 15.6 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{day}$; *b* — $C_c = 15.6 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{day}$; *c* — $C_c = 15.6 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{day}$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Получено точное аналитическое решение задачи влагопроводности в конструкции стены в грунте в условиях неполного водонасыщения окружающей среды.

Анализ данного решения показывает, что глинистая корочка существенно влияет на скорость высушивания бетона стены в грунте. Чем ниже ее диффузионная проницаемость, тем быстрее происходит высушивание бетона, так как более высокая влажность грунтовой среды не позволяет замедлять десорбционные процессы бетона.

При расчете с коэффициентом диффузии глинистой корочки $C_k = 15,6 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{сут}$ диффузионная проницаемость глинистой корочки начинает влиять на влажность глубоких слоев спустя 3 года, а на поверхностные слои влияние незначительно. Для приповерхностных участков более значимой является относительная влажность воздуха в котловане.

Вышесказанное дает возможность сделать вывод о существенном влиянии глинистой корочки на контакте «грунт – стена» в грунте в нестационарной задаче влагопроводности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ter-Martirosyan Z., Bakhmisov V. Boundary conditions for the problem of moisture transport in concrete // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 263. P. 03014. DOI: 10.1051/e3sconf/202126303014
2. Тер-Мартirosян З.Г., Бахмисов В.В. К вопросу учета ползучести бетона в грунтовой среде // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. № 9. С. 1285–1296. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.9.1285-1296
3. Xanthakos P. Slurry walls as structural systems. New York : McGraw-Hill, 1994. 855 p.
4. Иванов В.Д. Методика расчета сил бокового трения фундаментов, устраиваемых способом «стена в грунте» : дис. ... канд. техн. наук. М., 1989.
5. Henry L.B., Filz G.M., Davidson R.R. Formation and properties of bentonite filter cakes // Proceedings of Geo-Congress 98, Filtration and Drainage in Geotechnical/Geoenvironmental. 1998. Pp. 69–88.
6. Carreto J., Caldeira L., Maranha das Neves E. Processes involved in the formation and performance of self-hardening slurry walls: Santa Clara-a-Velha Monastery Cutoff Wall // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 2016. Vol. 142. Issue 7. DOI: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0001483
7. Filz G.M., Boyer R.D., Davidson R.R. Bentonite-water slurry rheology and cutoff wall trench stability // Proceedings of In Situ Remediation of the Geoenvironment. 1997. Pp. 139–153.
8. Nash K. Stability of Trenches Filled with Fluids // Journal of the Construction Division. 1974. Vol. 100. Issue 4. Pp. 533–542. DOI: 10.1061/JCCEAZ.0000456
9. Soroush A., Soroush M. Parameters affecting the thickness of bentonite cake in cutoff wall construction: case study and physical modeling // Canadian Geotechnical Journal. 2005. Vol. 42. Issue 2. Pp. 646–654. DOI: 10.1139/T04-090
10. Suits L.D., Sheahan T.C., Chung J., Daniel D.E. Modified fluid loss test as an improved measure of hydraulic conductivity for bentonite // Geotechnical Testing Journal. 2008. Vol. 31. Issue 3. P. 100005. DOI: 10.1520/GTJ100005
11. Nguyen T.B., Lee C., Ahn Y., Choi H. Hydraulic conductivity evaluation of vertical cutoff walls bearing filter cake from slug test analysis // Advances in Environmental Geotechnics. 2010. Pp. 666–671. DOI: 10.1007/978-3-642-04460-1_75
12. Nguyen T.-B., Lee C., Choi H. Estimation of hydraulic conductivity of bentonite filter cake in laboratory // Proceedings of 6th International Congress on Environmental Geotechnics. 2010. Pp. 1393–1396.
13. Nguyen T.-B. Performance of soil-bentonite slurry walls: Flow rates and contaminant containment : PhD Thesis. Seoul : Korea University, 2011.
14. Nguyen T., Lee C., Lim J., Choi H. Hydraulic characteristics of bentonite cake fabricated on cutoff walls // Clays and Clay Minerals. 2012. Vol. 60. Issue 1. Pp. 40–51. DOI: 10.1346/CCMN.2012.0600104
15. Zizka Z., Schoesser B., Thewes M., Schanz T. Slurry shield tunneling: new methodology for simplified prediction of increased pore pressures resulting from slurry infiltration at the tunnel face under cyclic excavation processes // International Journal of Civil Engineering. 2019. Vol. 17. Issue 1. Pp. 113–130. DOI: 10.1007/s40999-018-0303-2
16. D'Appolonia D. Soil-Bentonite Slurry Trench Cutoffs // Journal of the Geotechnical Engineering Division. 1980. Vol. 106. Issue 4. Pp. 399–417. DOI: 10.1061/ajgeb6.0000945
17. Freeze R.A., Cherry J.A. Groundwater. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1979. 604 p.
18. Park J., Kim J., Madsen C., Edil T. Retardation of volatile organic compound movement by a soil-bentonite slurry cutoff wall amended with ground tires // Water Environment Research. 1997. Vol. 69. Issue 5. Pp. 1022–1031. DOI: 10.2175/106143097X125722
19. Lake C., Rowe R. A comparative assessment of volatile organic compound (VOC) sorption to various types of potential GCL bentonites // Geotextiles and Geomembranes. 2005. Vol. 23. Issue 4. Pp. 323–347. DOI: 10.1016/J.GEOTEXMEM.2005.01.001
20. Choi H., Nguyen T., Lim J., Choi H. Parametric study on cutoff performance of soil-bentonite

slurry wall: Consideration of construction defects and bentonite cake // *KSCE Journal of Civil Engineering*. 2015. Vol. 19. Issue 6. Pp. 1681–1692. DOI: 10.1007/S12205-014-1171-1

21. Bažant Z., Najjar L. Drying of concrete as a nonlinear diffusion problem // *Cement and Concrete Research*. 1971. Vol. 1. Issue 5. Pp. 461–473. DOI: 10.1016/0008-8846(71)90054-8

22. Bažant Z., Najjar L. Nonlinear water diffusion in nonsaturated concrete // *Matériaux et Constructions*. 1972. Vol. 5. Issue 1. Pp. 3–20. DOI: 10.1007/BF02479073

23. Bažant Z., Jirásek M. Creep and hygrothermal effects in concrete structures // *Solid Mechanics and Its Applications*. 2018. DOI: 10.1007/978-94-024-1138-6

24. Александровский С.В. Расчет бетонных и железобетонных конструкций на изменения температуры и влажности с учетом ползучести бетона: монография. М.: Науч.-исслед., проект.-конструкт. и технол. ин-т бетона и железобетона (НИИЖБ), 2004. 712 с.

25. Франчук А.У. Вопросы теории и расчета влажности ограждающих частей зданий. М.: Госстройиздат, 1957. 188 с.

26. Аксенчик К.В., Шестаков К.В. Исследование тепло- и массообмена в бетонных плитах, подвергаемых тепловой обработке // *Вестник Череповецкого государственного университета*. 2010. № 4 (27). С. 63–67.

27. Газиев М.А. Эмпирический метод расчета влажностно-карбонизационных напряжений в панелях

из ячеистого бетона с учетом его реологических свойств // *Строительные материалы*. 2018. № 3. С. 75–79.

28. Жуков А.В., Цветков Н.А., Хуторной А.Н., Толстых А.В. Влияние температурной зависимости изотермы сорбции и коэффициента влагопроводности на влагоперенос в стене из газобетона // *Вестник МГСУ*. 2018. Т. 13. № 6 (117). С. 729–739. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.6.729-739

29. Корниенко С.В. Решение трехмерной задачи совместного нестационарного тепло- и влагопереноса для ограждающих конструкций зданий // *Строительные материалы*. 2007. № 10. С. 50–54.

30. Корниенко С.В. Тестирование метода расчета температурно-влажностного режима ограждающих конструкций на результатах натурных измерений параметров микроклимата помещений // *Инженерно-строительный журнал*. 2012. № 2 (28). С. 18–23.

31. Перехоженцев А.Г. Теоретические основы и методы расчета температурно-влажностного режима ограждающих конструкций зданий. Волгоград: ВолгГАСУ, 2008. 211 с.

32. Beverly P. FIB model code for concrete structures 2010. 2013.

33. Baroghel-Bouny V., Mainguy M., Lassabaterre T., Coussy O. Characterization and identification of equilibrium and transfer moisture properties for ordinary and high-performance cementitious materials // *Cement and Concrete Research*. 1999. Vol. 29. Issue 8. Pp. 1225–1238. DOI: 10.1016/S0008-8846(99)00102-7

Поступила в редакцию 15 июня 2022 г.

Принята в доработанном виде 27 июня 2022 г.

Одобрена для публикации 27 июня 2022 г.

ОБ АВТОРАХ: **Завен Григорьевич Тер-Мартirosян** — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры механики грунтов и геотехники; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 9613-8764, ORCID: 0000-0001-9159-6759, Scopus: 35621133900, ResearcherID: Q-8635-2017; ter-martyrosyanzg@mgsu.ru;

Виктор Васильевич Бахмисов — аспирант кафедры механики грунтов и геотехники; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; старший инженер; **НИИОСП им. Герсеванова** — АО «НИЦ «Строительство»; 109428, г. Москва, Рязанский пр-т, д. 59; РИНЦ ID: 1021900; bahmisov7@live.com.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Ter-Martirosyan Z., Bakhmisov V. Boundary conditions for the problem of moisture transport in concrete. *E3S Web of Conferences*. 2021; 263:03014. DOI: 10.1051/e3sconf/202126303014

2. Ter-Martirosyan Z.G., Bakhmisov V.V. To the question of concrete creep in the soil environment. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2020; 15(9):1285-1296. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.9.1285-1296 (rus.).

3. Xanthakos P. *Slurry walls as structural systems*. New York, McGraw-Hill, 1994; 855.

4. Ivanov V.D. *Method for calculating the forces of lateral friction of foundations, arranged by the “wall in the ground” method: dis. ... cand. tech. sciences*. Moscow, 1989. (rus.).

5. Henry L.B., Filz G.M., Davidson R.R. Formation and properties of bentonite filter cakes. *Proceedings of Geo-Congress 98, Filtration and Drainage in Geotechnical/Geoenvironmental*. 1998; 69-88.

6. Carreto J., Caldeira L., Maranha das Neves E. Processes involved in the formation and performance of self-hardening slurry walls: Santa Clara-a-Velha Monastery Cutoff Wall. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 2016; 142(7). DOI: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0001483
7. Filz G.M., Boyer R.D., Davidson R.R. Bentonite-water slurry rheology and cutoff wall trench stability. *Proceedings of In Situ Remediation of the Geoenvironment*. 1997; 139-153.
8. Nash K. Stability of trenches filled with fluids. *Journal of the Construction Division*. 1974; 100(4):533-542. DOI: 10.1061/JCCEAZ.0000456
9. Soroush A., Soroush M. Parameters affecting the thickness of bentonite cake in cutoff wall construction: case study and physical modeling. *Canadian Geotechnical Journal*. 2005; 42(2):646-654. DOI: 10.1139/T04-090
10. Suits L.D., Sheahan T.C., Chung J., Daniel D.E. Modified fluid loss test as an improved measure of hydraulic conductivity for bentonite. *Geotechnical Testing Journal*. 2008; 31(3):100005. DOI: 10.1520/GTJ100005
11. Nguyen T.B., Lee C., Ahn Y., Choi H. Hydraulic conductivity evaluation of vertical cutoff walls bearing filter cake from slug test analysis. *Advances in Environmental Geotechnics*. 2010; 666-671. DOI: 10.1007/978-3-642-04460-1_75
12. Nguyen T.-B., Lee C., Choi H. Estimation of hydraulic conductivity of bentonite filter cake in laboratory. *Proceedings of 6th International Congress on Environmental Geotechnics*. 2010; 1393-1396.
13. Nguyen T.-B. *Performance of soil-bentonite slurry walls: Flow rates and contaminant containment : PhD Thesis*. Seoul, Korea University, 2011.
14. Nguyen T., Lee C., Lim J., Choi H. Hydraulic characteristics of bentonite cake fabricated on cutoff walls. *Clays and Clay Minerals*. 2012; 60(1):40-51. DOI: 10.1346/CCMN.2012.0600104
15. Zizka Z., Schoesser B., Thewes M., Schanz T. Slurry shield tunneling: new methodology for simplified prediction of increased pore pressures resulting from slurry infiltration at the tunnel face under cyclic excavation processes. *International Journal of Civil Engineering*. 2019; 17(1):113-130. DOI: 10.1007/s40999-018-0303-2
16. D'Appolonia D. Soil-bentonite slurry trench cutoffs. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*. 1980; 106(4):399-417. DOI: 10.1061/ajgeb6.0000945
17. Freeze R.A., Cherry J.A. *Groundwater*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1979; 604.
18. Park J., Kim J., Madsen C., Edil T. Retardation of volatile organic compound movement by a soil-bentonite slurry cutoff wall amended with ground tires. *Water Environment Research*. 1997; 69(5):1022-1031. DOI: 10.2175/106143097X125722
19. Lake C., Rowe R. A comparative assessment of volatile organic compound (VOC) sorption to various types of potential GCL bentonites. *Geotextiles and Geomembranes*. 2005; 23(4):323-347. DOI: 10.1016/J.GEOTEXMEM.2005.01.001
20. Choi H., Nguyen T., Lim J., Choi H. Parametric study on cutoff performance of soil-bentonite slurry wall: Consideration of construction defects and bentonite cake. *KSCE Journal of Civil Engineering*. 2015; 19(6):1681-1692. DOI: 10.1007/S12205-014-1171-1
21. Bažant Z., Najjar L. Drying of concrete as a nonlinear diffusion problem. *Cement and Concrete Research*. 1971; 1(5):461-473. DOI: 10.1016/0008-8846(71)90054-8
22. Bažant Z., Najjar L. Nonlinear water diffusion in nonsaturated concrete. *Matériaux et Constructions*. 1972; 5(1):3-20. DOI: 10.1007/BF02479073
23. Bažant Z., Jirásek M. Creep and hygrothermal effects in concrete structures. *Solid Mechanics and Its Applications*. 2018. DOI: 10.1007/978-94-024-1138-6
24. Alexandrovsky S.V. *Calculation of Concrete and Reinforced Concrete Structures for Changes in Temperature and Humidity, Taking Into Account the Creep of Concrete*. Moscow, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete (NIIZHB), 2004; 712. (rus.).
25. Franchuk A.U. *Questions of the theory and calculation of the humidity of the enclosing parts of buildings*. Moscow, Gosstroyizdat, 1957; 188. (rus.).
26. Aksenichik K.V., Shestakov K.V. Study of heat and mass transfer in concrete slabs subjected to heat treatment. *Cherepovets State University Bulletin*. 2010; 4(27):63-67. (rus.).
27. Gaziev M.A. An empirical method for calculating wetness-carbonization stresses emerges in panels of aerated concrete, with considering its rheological properties. *Construction Materials*. 2018; 3:75-79. (rus.).
28. Zhukov A.V., Tsvetkov N.A., Khutornoy A.N., Tolstykh A.V. The effect of temperature dependence of the sorption isotherm and moisture conductivity coefficient on the moisture transfer in the wall of aerated concrete. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2018; 13(6):729-739. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.6.729-739 (rus.).
29. Kornienko S.V. Solution of the three-dimensional problem of joint non-stationary heat and moisture transfer for building envelopes. *Construction Materials*. 2007; 10:50-54. (rus.).
30. Kornienko S.V. Testing the method for calculating the temperature-humidity regime of enclosing structures on the results of field measurements of indoor microclimate parameters. *Magazine of Civil Engineering*. 2012; 2(28):18-23. (rus.).
31. Perehozhencev A.G. *Theoretical foundations and methods for calculating the temperature and humidity conditions of building envelopes*. Volgograd, VolgGASU, 2008; 211. (rus.).
32. Beverly P. *FIB model code for concrete structures 2010*. 2013.

33. Baroghel-Bouny V., Mainguy M., Lassabaterre T., Coussy O. Characterization and identification of equilibrium and transfer moisture properties for ordinary and high-performance cementitious materials. *Cement and Concrete Research*. 1999; 29(8):1225-1238. DOI: 10.1016/S0008-8846(99)00102-7

Received June 15, 2022.

Adopted in revised form on June 27, 2022.

Approved for publication on June 27, 2022.

BI O N O T E S: **Zaven G. Ter-Martirosyan** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Soil Mechanics and Geotechnics; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoye shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 9613-8764, ORCID: 0000-0001-9159-6759, Scopus: 35621133900, ResearcherID: Q-8635-2017; ter-martyrosyanzg@mgsu.ru;

Viktor V. Bahmisov — postgraduate of the Department of Soil Mechanics and Geotechnics; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoye shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; senior geotechnical engineer; **Gersevanov Research Institute of Bases and Underground Structures (NIIOSP) — “Research Center of Construction” JSC**; 59 Ryazanskiy Ave, Moscow, 109428, Russian Federation; ID RISC: 1021900; bahmisov7@live.com.

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

The authors declare no conflict of interest.

Допустимый уровень наполнения в трубах самотечных сетей водоотведения с внутренними отложениями

Олег Александрович Продоус¹, Дмитрий Иванович Шлычков²,
Иванна Александровна Абросимова²

¹ ИИКО-ЭКСПЕРТ; г. Санкт-Петербург, Россия;

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Цель исследования — сравнить значения гидравлических характеристик бетонных труб диаметром 400 мм со значениями для труб того же диаметра с разной толщиной слоя отложений в лотковой части труб.

Материалы и методы. Над потоком сточной жидкости правилами эксплуатации самотечных сетей водоотведения и действующими нормативами всегда предусматривается свободное пространство между сводом трубы и поверхностью потока, обеспечивающее вентилирование сети и перемещаемой сточной жидкости для удаления образующихся газов, выделяемых из потока. Следовательно, чем больше значение наполнения в трубах $H_{\text{ф}}$, тем больше значение толщины слоя отложений h . Используются расчетные зависимости, выведенные авторами для гидравлического расчета самотечных труб с внутренними отложениями.

Результаты. Подтверждено существование зависимости фактической степени наполнения труб от толщины слоя отложений в их лотковой части. Проведено сравнение значений гидравлического уклона для новых бетонных труб и труб с разной толщиной слоя отложений в их лотковой части. Рассмотрен конкретный пример, подтверждающий зависимость фактической степени наполнения труб от толщины слоя отложений в их лотковой части. Указаны мероприятия, повышающие уровень эксплуатации сетей водоотведения из разных видов материалов. Показано изменение величины значения фактического уровня наполнения $H_{\text{ф}}$ в самотечном трубопроводе в зависимости от толщины слоя отложений h в его лотковой части.

Выводы. Доказано, что необходимость проведения гидродинамической очистки сетей водоотведения зависит от фактического уровня их наполнения. Предложены мероприятия, обеспечивающие повышение уровня эксплуатации сетей водоотведения с отложениями в лотковой части труб для выполнения требований нормативных документов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сети водоотведения, наполнение труб, гидравлический расчет, толщина слоя отложений, самотечные сети, сточные жидкости, эксплуатация сетей

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Продоус О.А., Шлычков Д.И., Абросимова И.А. Допустимый уровень наполнения в трубах самотечных сетей водоотведения с внутренними отложениями // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 8. С. 1064–1072. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.8.1064-1072

Автор, ответственный за переписку: Дмитрий Иванович Шлычков, SHlyichkovDI@mgsu.ru.

Permissible filling level in pipes of gravity water networks with internal deposits

Oleg A. Prodous¹, Dmitriy I. Shlychkov², Ivanna A. Abrosimova²

¹ INCO-EXPERT; St. Petersburg, Russian Federation;

² Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU); Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. of the hydraulic characteristics of concrete pipes with a diameter of 400 mm with the values for pipes of the same diameter with different thicknesses of the sediment layer in the flume of the pipes.

Materials and methods. Above the flow of waste liquid, the rules for the operation of gravity sewerage networks and current regulations always provide for a free space between the roof of the pipe and the surface of the flow, which ensures ventilation of the network and the transported waste liquid to remove the resulting gases released from the flow. Therefore, the greater the filling value in the pipes H_{act} , the greater the value of the thickness of the deposit layer h . The calculated dependences derived by the authors for the hydraulic calculation of gravity pipes with internal deposits are used.

Results. The existence of a dependence of the actual degree of filling of pipes on the thickness of the layer of deposits in their flume was confirmed. The hydraulic slope values were compared for new concrete pipes and pipes with different thicknesses of the sediment layer in their flume. A specific example is considered, confirming the existence of a dependence of

the actual degree of filling of pipes on the thickness of the layer of deposits in their tray part. Measures are indicated that increase the level of operation of sewerage networks from different types of materials. The change in the value of the actual filling level H_{act} in a gravity pipeline is shown, depending on the thickness of the deposit layer h in its flume part.

Conclusions. It is shown that the need for hydrodynamic cleaning of sewerage networks depends on the actual level of their filling. Measures are proposed to ensure an increase in the level of operation of sewerage networks with deposits in the tray part of pipes to meet the requirements of regulatory documents.

KEYWORDS: sewerage networks, pipe filling, hydraulic calculation, sediment layer thickness, gravity networks, sewage liquids, network operation

FOR CITATION: Prodous O.A., Shlychkov D.I., Abrosimova I.A. Permissible filling level in pipes of gravity water networks with internal deposits. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2022; 17(8):1064-1072. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.8.1064-1072 (rus.).

Corresponding author: Dmitriy I. Shlychkov, SHlyichkovDI@mgsu.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Требованиями СП 32.13330.2018¹ нормируется уровень наполнения самотечных сетей водоотведения. Это обеспечивает перемещение потока сточной жидкости с минимальными (незаиляющими) скоростями (табл. 1).

Из табл. 1 следует, что с увеличением значения внутреннего диаметра труб $d_{вн}$ увеличивается значение отметки уровня наполнения H , характеризуемое отношением $H/d_{вн}$ — степенью наполнения, регламентированной требованиями СП 32.13330.2012, а также площадь фактически смоченного периметра ω_2 трубы (рис. 1, а, b) [1–3].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Над потоком сточной жидкости правилами эксплуатации самотечных сетей водоотведения и действующими нормативами всегда предусматривается свободное пространство между сводом трубы и поверхностью потока, обеспечивающее вентилирование сети и перемещаемой сточной жидкости для удаления образующихся газов, выделяемых из потока [4]. Следовательно, чем больше значение наполнения в трубах H_{ϕ} , тем больше значение толщины слоя отложений h .

Механизм образования слоя отложений в лотковой части труб зависит от состава сточных вод и режима движения потока [5, 6]. Слой отложений в лотковой

части труб изменяет площадь смоченного потоком периметра трубы, как показано на рис. 1, а, b,

$$\omega_1 = \frac{\pi \cdot d_{вн}^2}{4}, \text{ м}^2, \quad (1)$$

где $d_{вн}$ — внутренний диаметр трубы, м;

$$d_{вн} = d_n - 2S_t, \quad (2)$$

где S_t — толщина стенки трубы по ГОСТ для конкретного вида материала труб, м; ω_2 — площадь смоченного периметра трубы со слоем отложений h , м².

Рассчитывается по формуле [7, 8]:

$$W_2 = \frac{\pi \cdot (d_{пр})^2}{4}, \quad (3)$$

где $d_{пр}$ — приведенный диаметр труб, м, определяемый по формуле:

$$d_{пр} = d_{вн} - \sqrt{d_{вн}^2 - (d_{вн} - h)^2}, \quad (4)$$

где h — толщина слоя отложений, м.

На рис. 2 показано колебание значений фактического уровня в трубе с отложениями в ее лотковой части.

Образование слоя отложений h в лотковой части труб возможно лишь при условии, когда $V_{\phi} < V_{min}$, регламентированном требованиями

Табл. 1. Скорости движения в зависимости от наполнения труб $H/d_{вн}$

Table 1. Movement speeds, depending on the filling of pipes H/d_{in}

Внутренний диаметр труб $d_{вн}$, мм Inner diameter of pipes d_{in} , mm	Скорость движения V_{min} , м/с, при наполнении $H/d_{вн}$ Movement speed V_{min} , m/s, when filling H/d_{in}			
	0,6	0,7	0,75	0,8
150–250	0,7	----	----	----
300–400	----	0,8	----	----
450–500	----	----	0,9	----
600–800	----	----	1,0	----

¹ СП 32.13330.2018. Канализация. Наружные сети и сооружения : введен 26.06.2019.

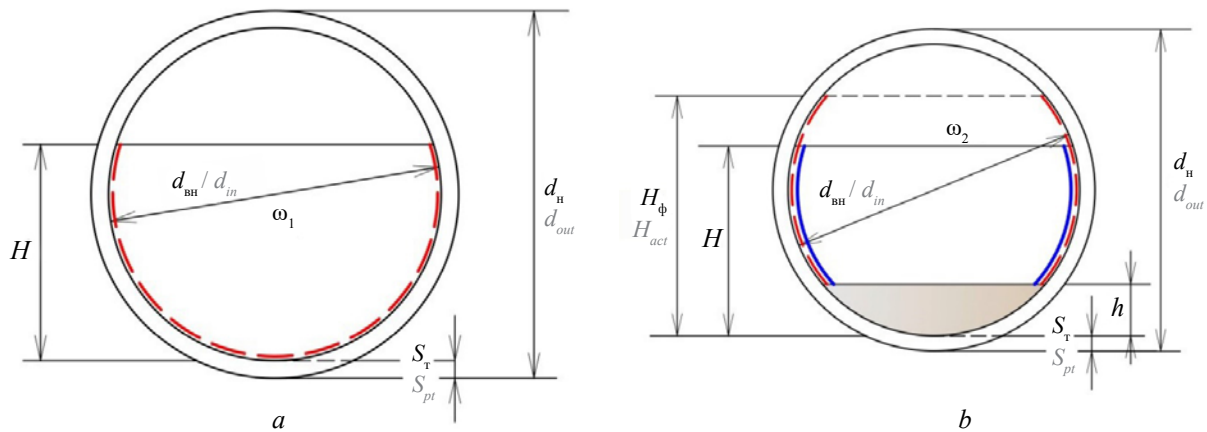


Рис. 1. Площадь смоченного периметра: *a* — в трубе без слоя отложений $h - \omega_1$, м²; *b* — в трубе с толщиной слоя отложений $h - \omega_2$, м²; H — наполнение в трубе без слоя отложений; $H_{\text{ф}}$ — наполнение в трубе со слоем отложений h ; ω_1 — площадь смоченного периметра трубы без слоя отложений, м²; ω_2 — площадь смоченного периметра трубы с толщиной слоя отложений h , м²

Fig. 1. Wetted perimeter area: *a* — in a pipe without a layer of deposits $h - \omega_1$, m²; *b* — in a pipe with a layer thickness of deposits $h - \omega_2$, m²; H — filling in a pipe without a layer of deposits; H_{act} — filling in a pipe with a layer of deposits h ; ω_1 — the area of the wetted perimeter of the pipe without a layer of deposits, m²; ω_2 — the area of the wetted perimeter of the pipe with the thickness of the layer of deposits h , m²

СП 32.13330.2018. Поэтому при нарушении этого условия образуется слой осадка h в лотковой части труб (рис. 1, б). Кроме этого, также увеличивается фактическое наполнение $H_{\text{ф}}$ в трубе со слоем отложений h . При этом прирост Δ (увеличение) фактического уровня наполнения $H_{\text{ф}}$ в сети с отложениями равен наполнению в новой трубе без отложений плюс толщина слоя отложений h (рис. 1, б):

$$H_{\text{ф}} = H + h, \text{ м.} \quad (5)$$

Например, для сети водоотведения диаметром $d_{\text{вн}} = 400$ мм с толщиной слоя осадка в лотковой части труб $h = 50$ мм, фактическое наполнение $H_{\text{ф}}$ составит:

$$H/d_{\text{вн}} = 0,7; H = 400 \cdot 0,7 = 280 \text{ мм.}$$

Тогда значение $H_{\text{ф}}$ по формуле (5) составит:

$$H_{\text{ф}} = 280 + 50 = 330 \text{ мм.}$$

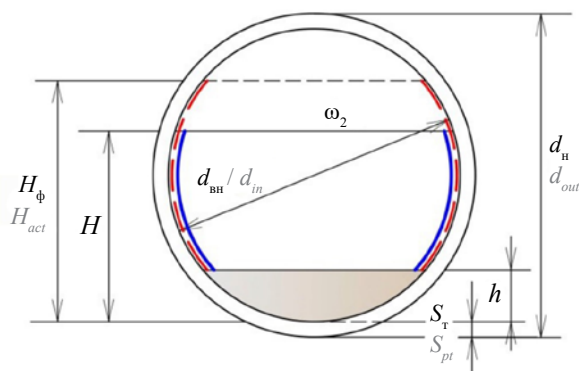


Рис. 2. Колебание значений фактического уровня наполнения в трубе с отложениями в ее лотковой части

Fig. 2. Fluctuations in the values of the actual filling level in a pipe with deposits in its flume

Фактическое наполнение $H_{\text{ф}}$ будет характеризоваться уже другим значением степени наполнения в трубе $H_{\text{ф}}/d_{\text{вн}}$ диаметром 400 мм, равным:

$$H_{\text{ф}}/d_{\text{вн}} = \frac{330}{400} = 0,83.$$

То есть степень наполнения в трубе со слоем отложений $h = 50$ мм, в сравнении с трубами без слоя отложений, увеличится $0,83 > 0,7$ на 18,58 % или в 1,19 раза.

В связи с этим возникает необходимость установить предельное значение толщины слоя отложений h в зависимости от значения внутреннего диаметра труб. Другими словами, обосновать допустимое значение толщины слоя осадка h с гидравлической точки зрения.

Авторами данной статьи предложена для использования при гидравлическом расчете самотечных сетей водоотведения уточненная формула А. Шези, имеющая вид [9, 10]:

$$i = \frac{4 \cdot V^2}{C^2 \cdot d_{\text{пр}}}, \text{ М/М,} \quad (6)$$

где V — средняя скорость потока, м/с; C — коэффициент А. Шези, определяемый по формуле Маннинга:

$$C = \frac{R^{0,167}}{n}, \quad (7)$$

где R — гидравлический радиус, м; $R = d_{\text{вн}}/4$, м; n — коэффициент, значение которого для практических расчетов принимают равным $n = 0,013$; $d_{\text{пр}}$ — приведенный внутренний диаметр труб, определяемый по формуле (4) [11, 12]:

$$d_{\text{пр}} = d_{\text{вн}} - \sqrt{d_{\text{вн}}^2 - (d_{\text{вн}} - h)^2}, \text{ м.} \quad (8)$$

Значение $d_{\text{пр}}$ — приведенного диаметра учитывает фактическую толщину слоя отложений h , который характеризует оставшееся пространство между сводом трубы над поверхностью слоя осадка в лотковой части, т.е. фактическую площадь смоченного потоком периметра трубы ω_2 . Следовательно, значение ω_2 влияет при расчете по формуле (6) на значение гидравлического уклона i .

Экспертно установлено, что значение величины фактического наполнения в трубах $H_{\text{ф}}$ самотечных сетей водоотведения не должно превышать 10 % от значения величины H (рис. 1, а, б). Покажем это на конкретном примере [13].

Условия задачи

По трубопроводу из бетонных труб диаметром 400 мм перемещается самотечный поток сточной жидкости $q = 0,15 \text{ м}^3/\text{с}$ (150 л/с). Определить величину фактического наполнения в трубах, если нормативная степень наполнения $H/d_{\text{вн}}$ в трубах увеличивается на 10 %. Рассчитать и сравнить значения $i_{\text{н}}$ и $i_{\text{ф}}$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Решение

1. Согласно условиям задачи определяют величину нормативного наполнения в трубах $H_{\text{норм}} = 0,7 \cdot d_{\text{вн}} = 0,7 \cdot 0,4 = 0,280 \text{ м}$.

2. Рассчитывают значение $H_{\text{ф}}$, согласно экспертно установленному пределу 10 % от значения величины $H_{\text{норм}}$:

$$H_{\text{ф}} = H_{\text{норм}} + 10 \% = 0,280 + 0,028 = 0,308 \text{ м.}$$

По второму способу расчета $H_{\text{ф}} = 0,4 \cdot 0,77 = 0,308 \text{ м}$. Значения совпадают.

3. По заданному расходу q устанавливают значение средней скорости потока V по формуле:

$$V = \frac{4 \cdot q}{\pi \cdot d_{\text{вн}}^2}, \text{ м/с,}$$

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

4. Согласно условиям задачи, рассчитывают значение $d_{\text{вн}}$ для новых бетонных труб (ГОСТ 20054-2016²):

$$d_{\text{вн}} = d_{\text{н}} - 2S_{\text{п}} = 0,511 - 2 \cdot 0,055 = 0,510 - 0,11 = 0,400 \text{ м.}$$

5. По формуле (6) вычисляют значение нормативного гидравлического уклона $i_{\text{норм}}$ в новой бетонной трубе диаметром 400 мм:

$$i_{\text{норм}} = \frac{4 \cdot 1,19^2}{C^2 \cdot 0,4} = \frac{5,6644}{1097,7} = 0,00516, \text{ м/м}$$

где C — коэффициент А. Шези, определяемый по формуле (7):

$$C = \frac{0,1^{0,167}}{0,013} = \frac{0,681}{0,013} = 52,38.$$

6. По формуле (5) вычисляют значение фактической толщины слоя отложений h , соответствующее значению $H_{\text{ф}} = 0,308 \text{ м}$, которое должно соответствовать заданному значению $h = 0,05 \text{ м}$ [14, 15]:

$$H = H_{\text{ф}} - H = 0,330 - 0,280 = 0,05 \text{ м (50 мм).}$$

Соответствует условиям задачи.

7. Экспертно установленное значение фактической степени наполнения труб диаметром 400 мм, $H_{\text{ф}}/d_{\text{пр}}$, не должно превышать 10 % от нормативного $H_{\text{ф}}/d_{\text{пр}}$:

$$H_{\text{ф}}/d_{\text{пр}} = 0,7 + 10 \% = 0,77.$$

То есть нормативное значение $H/d_{\text{пр}}$ не допускает изменения значений внутреннего диаметра труб $d_{\text{вн}}$ за счет наличия слоя отложений h в их лотковой части более чем на 10 %.

Однако в практике эксплуатации самотечных сетей водоотведения наличие отложений в лотковой части труб встречается достаточно часто (рис. 3, а, б).

Покажем изменение величины значения фактического уровня наполнения $H_{\text{ф}}$ в самотечном трубопроводе в зависимости от толщины слоя отложений h в его лотковой части [16].

В табл. 2 для условий задачи приведены значения фактического уровня наполнения труб $H_{\text{ф}}$ в зависимости от толщины слоя осадка h в их лотковой части [17–20]. На рис. 4 и 5 по данным табл. 2 построены графики зависимости $H_{\text{ф}} = f(h)$ и $H_{\text{ф}}/d_{\text{пр}} = f(h)$.

График, представленный на рис. 4, подтверждает существование зависимости фактического уров-



Рис. 3. Отложения в лотковой части труб из разных материалов: а — бетонные трубы; б — трубы из поливинилхлорида

Fig. 3. Deposits in the tray part of pipes made of different materials: а — concrete pipes; б — PVC pipes

²ГОСТ 20054-2016. Трубы бетонные безнапорные. Технические условия : введен 01.07.2017.

Табл. 2. Характеристики бетонных труб диаметром 400 мм

Table 2. Characteristics of concrete pipes with a diameter of 400 mm

Фактический уровень наполнения труб H_{ϕ} , м Actual filling level of pipes H_{act} , m	Толщина слоя отложений h , м Thickness of the sediment layer h , m					
	0	0,05	0,07	0,10	0,12	0,15
	0,280	0,330	0,350	0,380	0,400	0,430
Степень наполнения труб $H_{\phi}/d_{\text{тр}}$ Degree of filling of pipes, H_{act}/d_{red}	0,7	0,83	0,88	0,95	1,0	1,08

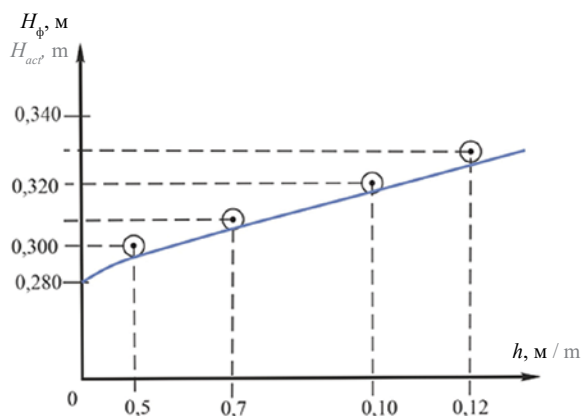


Рис. 4. График зависимости $H_{\phi} = f(h)$

Fig. 4. Dependence graph $H_f = f(h)$

ния наполнения труб H_{ϕ} от толщины слоя осадка h в их лотковой части.

График зависимости $H_{\phi}/d_{\text{тр}}$, представленный на рис. 5, является практическим индикатором контроля нормативной степени³ наполне-

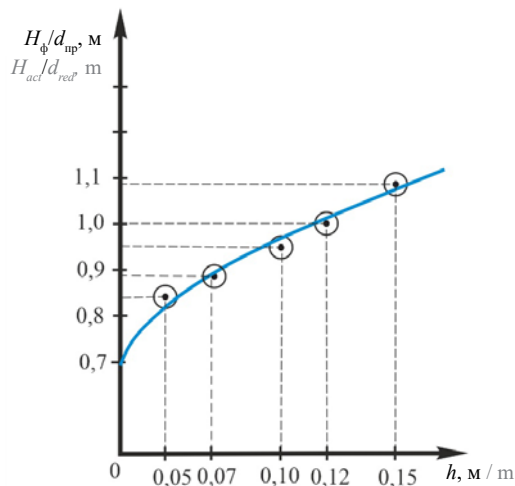


Рис. 5. График зависимости $H_{\phi}/d_{\text{тр}} = f(h)$

Fig. 5. Dependence graph $H_{act}/d_{red} = f(h)$

ния труб $H_{\phi}/d_{\text{вн}}$ и ее соответствия требованиям СП 32.13330.2018, ограничивающим превышение фактической степени наполнения труб $H_{\phi}/d_{\text{тр}}$ более чем на 10 %, т.е. $H_{\phi}/d_{\text{тр}} = H/d_{\text{вн}} + 10\%$.

Табл. 3. Гидравлические характеристики бетонных труб с разной толщиной слоя отложений h диаметром 400 мм

Table 3. Hydraulic characteristics of concrete pipes with different thickness of the layer of deposits h with a diameter of 400 mm

Приведенный диаметр, Reduced diameter	Толщина слоя отложений h , м Thickness of the sediment layer h , m					
	0	0,05	0,07	0,10	0,12	0,15
$d_{\text{тр}}, \text{ м} / d_{\text{ред}}, \text{ м}$	0,4	0,206	0,174	0,135	0,114	0,088
Фактическая скорость V_{ϕ} , м/с Actual speed V_{act} , m/s	1,18	4,50	6,31	10,49	14,71	24,69
Коэффициент А. Шези Chézy's coefficient	66,01	59,08	57,44	55,06	53,53	51,26
Фактический гидравлический уклон i_{ϕ} , м/м Actual hydraulic slope i_{act} , m/m	0,00320	0,11265	0,27741	0,84426	2,64967	10,54526

³ Шевелев Ф.А., Шевелев А.Ф. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб : справочное пособие. М. : Издательский дом «Бастет», 2014. 382 с.

Для построения графика зависимости $i_{\phi} = f(h)$ в табл. 3 приведены значения гидравлических характеристик труб для условий, приведенных в задаче.

На рис. 6 по данным табл. 3 построен график зависимости $i_{\phi} = f(h)$.

График зависимости $i_{\phi} = f(h)$ на рис. 6 подтверждает, что чем больше толщина слоя отложений

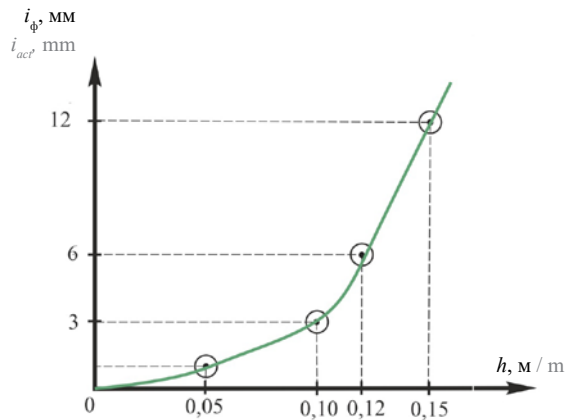


Рис. 6. График зависимости $i_{\phi} = f(h)$ для бетонных труб диаметром 400 мм с разной толщиной слоя отложений h

Fig. 6. Dependence graph $i_{\phi} = f(h)$ for concrete pipes with a diameter of 400 mm with different thicknesses of the deposit layer h

h , тем больше значение фактического гидравлического уклона i_{ϕ} и тем больше значение фактического уровня наполнения в трубах H_{ϕ} [21–26].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для выполнения требований СП 32.13330.2018 относительно поддержания соответствия степени наполнения разных диаметров с минимальными незаиливающими скоростями V_{\min} необходимо:

- инструментально контролировать уровень фактического наполнения сетей водоотведения H_{ϕ} [27];
- ввести обязательный учет значений уровней H_{ϕ} для предприятий, эксплуатирующих сети водоотведения разного диаметра и из разных видов материалов труб [28];
- планировать и обосновывать необходимость проведения гидродинамической очистки сетей водоотведения по величине фактического уровня наполнения в трубах H_{ϕ} [29, 30].

Такой подход существенно повысит уровень эксплуатации самотечных сетей водоотведения из различных видов материалов труб и позволит планировать очередность их замены и затраты на проведение гидродинамической очистки.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Фоминых А.В., Тельминов А.В., Ковшова Н.А. Зависимость коэффициента потерь на трение по длине трубы в гидравлических системах АПК // Вестник Курганской ГСХА. 2018. № 3 (27). С. 79–82.
2. Терехов Л.Д., Майны Ш.Б. Исследование изменения теплового режима канализационных сетей в зимний период // Водоснабжение и санитарная техника. 2019. № 12. С. 42–47. DOI: 10.35776/MNP.2019.12.07
3. Shlychkov D. Energy-saving as an integral part of technical and economic efficiency // Orcion. 2019. Vol. 35. Issue SpecialEdition24. Pp. 1626–1636.
4. Воинцева И.И., Нижник Т.Ю., Стрикаленко Т.В., Баранова А.И. Антикоррозионные свойства обеззараживающих реагентов на основе полигексаметиленгуанидина гидрохлорида // Вода: химия и экология. 2018. № 10–12 (117). С. 99–108.
5. Продоус О.А., Шлычков Д.И. Механизм образования слоя отложений в лотковой части труб самотечных сетей водоотведения // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2021. № 6 (750). С. 95–100. DOI: 10.32683/0536-1052-2021-750-6-95-100
6. Иваненко И.И., Сеничева К.С. Изучение режима поступления городских сточных вод малых населенных пунктов в сухую пого-

- ду // Вестник МГСУ. 2019. Т.14. № 2. С. 225–236. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.2.225-236
7. Продоус О.А., Шлычков Д.И. Сравнительный анализ расчетных зависимостей для гидравлического расчета самотечных сетей водоотведения // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2021. Т. 11. № 3 (38). С. 462–469. DOI: 10.21285/2227-2917-2021-1-462-469
8. Воинцев И.И., Новиков М.Г., Продоус О.А. Продление периода эксплуатации трубопроводов систем водоснабжения из стальных и чугунных труб // Инженерные системы. АВОК – Северо-Запад. 2019. № 1. С. 44–47.
9. Kamonchaivanich K., Kuboyama K., Ougizawa T. Effect of elastic modulus and position of polyurea coating on flexural strength of coated ceramic tiles by experiments and finite element analysis // Journal of Coatings Technology and Research. 2019. Vol. 16. Issue 4. Pp. 1201–1211. DOI: 10.1007/s11998-018-00170-6
10. Саутов В.Е., Котюков А.Б. Исследования распределения расхода жидкости по высоте загрузки в фильтре для очистки воды с центральной перфорированной трубой // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. № 2 (38). С. 192–196. DOI: 10.18286/1816-4501-2017-2-192-196

11. Orlov V., Zotkin S. Influence of the temperature factor on the hydraulic resistance of pressure pipes // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 263. P. 04004. DOI: 10.1051/e3sconf/202126304004
12. Beiki H., Mosavi S.J. Silver nanoparticles-polyurea composite coatings on ASTM A194 Steel: A study of corrosion behavior in chloride medium // Journal of Bio- and Tribo-Corrosion. 2020. Vol. 6. Issue 3. DOI: 10.1007/s40735-020-00364-9
13. Klyuev S.V., Shlychov D.I., Muravyov K.A., Ksenofontova T.K. Optimal design of building structures // International Journal of Advanced Science and Technology. 2020. Vol. 29. Issue 5. C. 2577–2583.
14. Zulaykho O.T., Dildora S.A., Dilnoza S.S. The basics of hydraulic calculation of heat supply systems // Scientific progress. 2021. Vol. 2. Issue 1. Pp. 1122–1126.
15. Ручкинова О.И., Дьяков П.П., Россихин В.Ю. Оценка естественной тяги в коллекторе водоотводящей сети // Construction and Geotechnics. 2020. Т. 11. № 2. С. 78–87. DOI: 10.15593/2224-9826/2020.2.07
16. Князев Д.К. Техническое перевооружение предприятия как инструмент управления экологическими рисками промышленного города // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. № 12 (111). С. 1399–1407. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.12.1399-1407
17. Schwermer C.U., Uhl W. Calculating expected effects of treatment effectivity and river flow rates on the contribution of WWTP effluent to the ARG load of a receiving river // Journal of Environmental Management. 2021. Vol. 288. P. 112445. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.112445
18. Wang R., Ji M., Zhai H., Liu Y. Occurrence of phthalate esters and microplastics in urban secondary effluents, receiving water bodies and reclaimed water treatment processes // Science of the Total Environment. 2020. Vol. 737. P. 140219. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.140219
19. Патент РФ на полезную модель № 207822. Устройство для измерения толщины отложений в трубе / О.А. Продоус, Д.И. Шлычков. Зарег. в Госреестре полезных моделей РФ 18.11.2021. Срок действия до 23.07.2031.
20. Xu J., Sun H., Zhang Y., Alder A.C. Occurrence and enantiomer profiles of β -blockers in wastewater and a receiving water body and adjacent soil in Tianjin, China // Science of The Total Environment. 2019. Vol. 650. Pp. 1122–1130. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.09.086
21. Mazzanti A., Kukavica D., Trancuccio A., Memmi M., Bloise R., Gambelliet P. et al. Outcomes of patients with catecholaminergic polymorphic ventricular tachycardia treated with β -blockers // JAMA cardiology. 2022. Vol. 7. Issue 5. P. 504. DOI: 10.1001/jamacardio.2022.0219
22. Твардовская Е.А., Терехов Л.Д. Определение оптимальной степени обледенения трубопровода, обеспечивающей увеличение пропускной способности // Транспорт: проблемы, идеи, перспективы : сб. тр. LXXXI Всерос. науч.-техн. конф. студ., асп. и мол. уч. СПб., 2021. С. 353–357.
23. Schwermera C.U., Uhlabc W. Calculating expected effects of treatment effectivity and river flow rates on the contribution of WWTP effluent to the ARG load of a receiving river // Journal of Environmental Management. 2021. Vol. 288. P. 112445. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.112445
24. Orlov V. Study of hydrophobicity and texture of the gravity tray surfaces to improve their transfer capacity // Environmental Engineering and Management Journal. 2021. Vol. 20. Issue 1. Pp. 121–131. DOI: 10.30638/eemj.2021.013
25. Чупин Р.В. Оптимизация развивающихся систем водоотведения: монография. Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2015. 418 с.
26. Абросимова И.А. Экономическое влияние от автоматизации анализа системы наилучших доступных технологий строительного комплекса на территории Российской Федерации // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: экономика. 2020. № 3. С. 25–32. DOI: 10.18384/2310-6646-2020-3-25-32
27. Sotiri K., Hilgert S., Mannich M., Blesinger T., Fuchs S. Implementation of comparative detection approaches for the accurate assessment of sediment thickness and sediment volume in the Passaúna Reservoir // Journal of Environmental Management. 2021. Vol. 287. P. 112298. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.112298
28. Zhang G., Wang P., Zhao M., Du X., Zhao X. Seismic structure-water-sediment-rock interaction model and its application to immersed tunnel analysis under obliquely incident earthquake // Tunnelling and Underground Space Technology. 2021. Vol. 109. P. 103758. DOI: 10.1016/j.tust.2020.103758
29. Ding Y., Li T., Qiu K., Ma B., Wu R. Membrane fouling performance of Fe-based coagulation-ultrafiltration process: Effect of sedimentation time // Environmental Research. 2021. Vol. 195. P. 110756. DOI: 10.1016/j.envres.2021.110756
30. Haun S., Lizano L. Sensitivity analysis of sediment flux derived by laser diffraction and acoustic backscatter within a reservoir // International Journal of Sediment Research. 2018. Vol. 33. Issue 1. Pp. 18–26. DOI: 10.1016/j.ijsrc.2018.01.001

Поступила в редакцию 10 июня 2022 г.

Принята в доработанном виде 3 августа 2022 г.

Одобрена для публикации 3 августа 2022 г.

ОБ АВТОРАХ: **Олег Александрович Продоус** — доктор технических наук, профессор, генеральный директор; **ИНКО-ЭКСПЕРТ**; 190005, г. Санкт-Петербург, Московский пр-т, д. 37/1, лит. А, пом. 1-Н; РИНЦ ID: 837891; pro@enco.su;

Дмитрий Иванович Шлычков — кандидат технических наук, доцент кафедры водоснабжения и водоотведения; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 536457; SHlyichkovDI@mgsu.ru;

Иванна Александровна Абросимова — аспирант, преподаватель кафедры автоматизации и электроснабжения; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 1066562; AbrosimovaIA@mgsu.ru.

Вклад авторов:

Продоус О.А. — научное руководство, концепция исследования, развитие методологии.

Шлычков Д.И. — участие в разработке учебных программ и их реализации, развитие методологии, итоговые выводы, научное редактирование.

Абросимова И.А. — обработка материала, написание исходного текста.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Fominykh A.V., Telminov A.V., Kovshova N.A. The dependence of the coefficient of friction losses along the length of the pipe in hydraulic systems of the agro-industrial complex. *Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy*. 2018; 3(27):79-82. (rus.)
2. Terekhov L., Mainy S. Study of the changes in the thermal conditions of sewer networks in winter. *Water Supply and Sanitary Technique*. 2019; 12:42-47. DOI: 10.35776/MNP.2019.12.07 (rus.).
3. Shlychikov D. Energy-saving as an integral part of technical and economic efficiency. *Opcion*. 2019; 35(SpecialEdition24):1626-1636.
4. Vointsev I.I., Nizhnik T.Yu., Strikalenko T.V., Baranova A.I. Anticorrosive properties of disinfectant reagents based on polyhexamethylene guanidine hydrochloride. *Water: Chemistry and Ecology*. 2018; 10-12(117):99-108. (rus.).
5. Prodous O.A., Shlychikov D.I. The mechanism of a sediment layer formation in the tray part of self-drainage networks pipes. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2021; 6(750):95-100. DOI: 10.32683/0536-1052-2021-750-6-95-100 (rus.).
6. Ivanento I.I., Senicheva K.S. Research of sewage intake of small settlements in dry weather. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2019; 14(2):225-236. DOI: 10.22227/19970935.2019.2.225-236 (rus.).
7. Prodous O.A., Shlychikov D.I. Comparative analysis of empirical dependencies for hydraulic calculation of wastewater gravity flow network. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real Estate*. 2021; 11(3):462-469. DOI: 10.21285/2227-2917-2021-1-462-469 (rus.).
8. Vointsev I.I., Novikov M.G., Prodous O.A. Extension of the period of operation of pipelines of water supply systems from steel and cast-iron pipes. *Engineering Systems. ABOK – North-West*. 2019; 1:44-47. (rus.).
9. Kamonchaivanich K., Kuboyama K., Ougizawa T. Effect of elastic modulus and position of polyurea coating on flexural strength of coated ceramic tiles by experiments and finite element analysis. *Journal of Coatings Technology and Research*. 2019; 16(4):1201-1211. DOI: 10.1007/s11998-018-00170-6
10. Saitov V.E., Kotyukov A.B. Research of liquid consumption distribution along the height of the water filter with central slotted pipe. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2017; 2(38):192-196. DOI: 10.18286/1816-4501-2017-2-192-196 (rus.).
11. Orlov V., Zotkin S. Influence of the temperature factor on the hydraulic resistance of pressure pipes. *E3S Web of Conferences*. 2021; 263:04004. DOI: 10.1051/e3s-conf/202126304004
12. Beiki H., Mosavi S.J. Silver nanoparticles-polyurea composite coatings on ASTM A194 steel: A study of corrosion behavior in chloride medium. *Journal of Bio- and Tribo-Corrosion*. 2020; 6(3). DOI: 10.1007/s40735-020-00364-9
13. Klyuev S.V., Shlychikov D.I., Muravyov K.A., Ksenofontova T.K. Optimal design of building structures. *International Journal of Advanced Science and Technology*. 2020; 29(5):2577-2583.
14. Zulaykho O.T., Dildora S.A., Dilnoza S.S. The basics of hydraulic calculation of heat supply systems. *Scientific progress*. 2021; 2(1):1122-1126.
15. Ruchkinova O.I., Diakov P.P., Rossikhin V.Y. Assessment of relative pressure in the sewage network collector. *Construction and Geotechnics*. 2020; 11(2):78-87. DOI: 10.15593/2224-9826/2020.2.07 (rus.).
16. Knyazev D.K. Modernization of the enterprise as an instrument for control of ecological-hygienic risks of the industrial city. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2017; 12(12):(111):1399-1407. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.12.1399-1407 (rus.).

17. Schwermer C.U., Uhl W. Calculating expected effects of treatment effectivity and river flow rates on the contribution of WWTP effluent to the ARG load of a receiving river. *Journal of Environmental Management*. 2021; 288:112445. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.112445

18. Wang R., Ji M., Zhai H., Liu Y. Occurrence of phthalate esters and microplastics in urban secondary effluents, receiving water bodies and reclaimed water treatment processes. *Science of the Total Environment*. 2020; 737:140219. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.140219

19. Patent RF for utility model No. 207822. *Device for measuring the thickness of deposits in a pipe* / Prodous O.A., Shlychikov D.I. Registered in the State Register of Utility Models of the Russian Federation on November 18, 2021. Valid until July 23, 2031. (rus.).

20. Xu J., Sun H., Zhang Y., Alder A.C. Occurrence and enantiomer profiles of β -blockers in wastewater and a receiving water body and adjacent soil in Tianjin, China. *Science of The Total Environment*. 2019; 650:1122-1130. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.09.086

21. Mazzanti A., Kukavica D., Trancuccio A., Memmi M., Bloise R., Gambelliet P. et al. Outcomes of patients with catecholaminergic polymorphic ventricular tachycardia treated with β -blockers. *JAMA cardiology*. 2022; 7(5):504. DOI: 10.1001/jamacardio.2022.0219

22. Tvardovskaya E.A., Terekhov L.D. Determination of the optimal degree of icing of the pipeline, providing an increase in throughput. *Transport: problems, ideas, prospects : collection of works of the LXXXI All-Russian scientific and technical conference of students, graduate students and young scientists*. Saint-Petersburg, 2021; 353-357. (rus.).

23. Schwermera C.U., Uhlabc W. Calculating expected effects of treatment effectivity and river flow rates on the contribution of WWTP effluent to the ARG load of a receiving river. *Journal of Environmental*

Management. 2021; 288:112445. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.112445

24. Orlov V. Study of hydrophobicity and texture of the gravity tray surfaces to improve their transfer capacity. *Environmental Engineering and Management Journal*. 2021; 20(1):121-131. DOI: 10.30638/eemj.2021.013

25. Chupin R.V. *Optimization of developing wastewater systems: monograph*. Irkutsk, ISTU publishing house, 2015; 418. (rus.).

26. Abrosimova I.A. The economic effect of automated analysis of the system of the best available techniques of the Russian building complex. *Bulletin of the Moscow Region State University. Series: Economics*. 2020; 3:25-32. DOI: 10.18384/2310-6646-2020-3-25-32 (rus.).

27. Sotiri K., Hilgert S., Mannich M., Bleninger T., Fuchs S. Implementation of comparative detection approaches for the accurate assessment of sediment thickness and sediment volume in the Passaúna Reservoir. *Journal of Environmental Management*. 2021; 287:112298. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.112298

28. Zhang G., Wang P., Zhao M., Du X., Zhao X. Seismic structure-water-sediment-rock interaction model and its application to immersed tunnel analysis under obliquely incident earthquake. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2021; 109:103758. DOI: 10.1016/j.tust.2020.103758

29. Ding Y., Li T., Qiu K., Ma B., Wu R. Membrane fouling performance of Fe-based coagulation-ultrafiltration process: Effect of sedimentation time. *Environmental Research*. 2021; 195:110756. DOI: 10.1016/j.envres.2021.110756

30. Haun S., Lizano L. Sensitivity analysis of sediment flux derived by laser diffraction and acoustic backscatter within a reservoir. *International Journal of Sediment Research*. 2018; 33(1):18-26. DOI: 10.1016/j.ijsrc.2018.01.001

Received June 10, 2022.

Adopted in revised form on August 3, 2022.

Approved for publication on August 3, 2022.

BIONOTES: **Oleg A. Prodous** — Doctor of Technical Sciences, Professor, General Director; **INCO-EXPERT**; pom. 1-H, lit. A, 37/1 Moskovsky Avenue; St. Petersburg, 190005, Russian Federation; ID RISC: 837891; pro@enco.su;

Dmitriy I. Shlychikov — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Water Supply and Sanitation; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 536457; SHlychikovDI@mgsu.ru;

Ivanna A. Abrosimova — postgraduate, Lecturer of the Department of Automation and Power Supply; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 1066562; AbrosimovaIA@mgsu.ru.

Contribution of the authors:

Oleg A. Prodous — scientific leadership, research concept, methodology development.

Dmitriy I. Shlychikov — participation in the development of training programs and their implementation, development of methodology, final conclusions, scientific editing.

Ivanna A. Abrosimova — processing the material, writing the original text.

The authors declare no conflict of interest.

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 332.8

DOI: 10.22227/1997-0935.2022.8.1073-1084

Теоретические аспекты инновационного развития единых теплоснабжающих организаций в условиях перехода на новый энергетический уклад

Валерия Викторовна Глазкова

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Теплоснабжение России находится в критическом состоянии. Сложившаяся ситуация обуславливает необходимость модернизации, которая должна быть связана с внедрением современных технологий и инноваций в сферу теплоснабжения. Ряд исследователей отмечает, что в настоящее время происходит смена энергетического уклада, основанного на частичном замещении существующих источников энергии в сторону энергоэффективных устройств, которые позволяют удовлетворять растущие потребности в энергии и снизить негативное воздействие на окружающую среду. Субъектом теплоснабжения, который должен взять на себя ответственность за вопросы реализации вектора его инновационного развития на определенной территории, должны стать единые теплоснабжающие организации (ЕТО), закрепленные законодательством в качестве единого центра ответственности, модернизации и технологического развития теплоснабжения. Цель исследования — рассмотрение теоретических аспектов инновационного развития ЕТО в условиях перехода на новый энергетический уклад.

Материалы и методы. Теоретической и методологической основой послужили труды российских и зарубежных авторов по вопросам инновационного развития экономических систем, а также работы исследователей, доказывающих взаимосвязь цикличности экономического роста с инновационным развитием. Применялись методы анализа и синтеза, метод сравнительных оценок.

Результаты. Изучение подходов к инновационному развитию экономических систем позволило заключить, что, несмотря на кризисные явления, которые естественны в своей цикличности, снижение темпов развития этих систем преодолевается с большей скоростью в случаях осуществления инноваций в системе, что, по мнению автора, должно найти практическое отражение при модернизации теплоснабжения, в частности, посредством инновационного развития ЕТО.

Выводы. В условиях смены энергетического уклада инновационное развитие ЕТО следует рассматривать не только с позиций повышения эффективности деятельности в сфере теплоснабжения в России, но и с позиций повышения энергоэффективности и минимизации негативного влияния на окружающую среду.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: теплоснабжение, субъекты теплоснабжения, единые теплоснабжающие организации, инновации, инновационное развитие, теория циклов, энергетический уклад, инновационное развитие единых теплоснабжающих организаций

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Глазкова В.В. Теоретические аспекты инновационного развития единых теплоснабжающих организаций в условиях перехода на новый энергетический уклад // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 8. С. 1073–1084. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.8.1073-1084

Автор, ответственный за переписку: Валерия Викторовна Глазкова, leram86@mail.ru.

Theoretical aspects of innovative development of unified heat supply organizations in the conditions of transition to a new energy system

Valeria V. Glazkova

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

ABSTRACT

Introduction. Heat supply, which is one of the most important areas of housing and communal services in our country, is in critical condition, as evidenced by the increase in the number of accidents on heating networks and an increase in heat loss over the past 25 years. The current situation necessitates the modernization of the sphere under consideration, which should be associated with the introduction of modern technologies and innovations in the activities of heat supply. In addi-

tion, a number of researchers note that currently there is a change in the energy system based on the partial replacement of existing energy sources towards energy-efficient devices, which, on the one hand, allow meeting growing energy needs, and, on the other hand, reduce the negative impact on the environment. Therefore, it is proposed to consider the modernization and innovative development of heat supply, including in the context of compliance with environmental safety properties. It is determined that the subject of heat supply, which should take responsibility for the implementation of the vector of its innovative development in a certain territory, should be unified heat supply organizations, fixed by legislation as a single center of responsibility, modernization and technological development of heat supply. In this regard, the purpose of the study is to consider the theoretical aspects of the innovative development of unified heat supply organizations in the conditions of transition to a new energy system.

Materials and methods. The theoretical and methodological basis of the study was the works of Russian and foreign authors on the issues of innovative development of economic systems, as well as the work of researchers proving the relationship of cyclical economic growth with innovative development. The study used methods of analysis and synthesis, as well as the method of comparative estimates.

Results. The study of approaches to the innovative development of economic systems allowed us to conclude that, despite the crisis phenomena that are natural in their cyclicity, the decline in the development of these systems is overcome with greater speed in cases of innovation in the system, which, according to the author, should be reflected in practice in the modernization of heat supply, in particular, through the innovative development of unified heat supply organizations.

Conclusions. In the conditions of changing energy structure, the innovative development of unified heat supply organizations should be considered not only from the standpoint of increasing the efficiency of heat supply in Russia, but also from the standpoint of increasing its energy efficiency and minimizing the negative impact on the environment.

KEYWORDS: heat supply, subjects of heat supply, unified heat supply organizations, innovations, innovative development, cycle theory, energy structure, innovative development of unified heat supply organizations

FOR CITATION: Glazkova V.V. Theoretical aspects of innovative development of unified heat supply organizations in the conditions of transition to a new energy system. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2022; 17(8):1073-1084. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.8.1073-1084 (rus.).

Corresponding authors: Valeria V. Glazkova, leram86@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Теплоснабжение является важной подотраслью жилищно-коммунального хозяйства, которая включает два основных сегмента — централизованное теплоснабжение, обеспечивающее по разным оценкам от 50 до 75 % потребности России в тепле, которой принадлежит до 45 % централизованного производства тепловой энергии в мире; и децентрализованное теплоснабжение, выраженное индивидуально организованными автономными системами теплоснабжения.

С точки зрения статистического учета второй сегмент слабо учитывается, в основном официальные данные предоставляются для централизованного теплоснабжения. Если рассмотреть количество источников централизованного теплоснабжения в России за 1995–2020 гг. (рис. 1), можно отметить отсутствие их серьезного увеличения — в среднем увеличение происходит на 1 % ежегодно. Однако за последние 25 лет наблюдается перевес количества источников в сторону распространения их в сельской местности (рост источников в сельской местности к 2020 г. составил 25 % по отношению

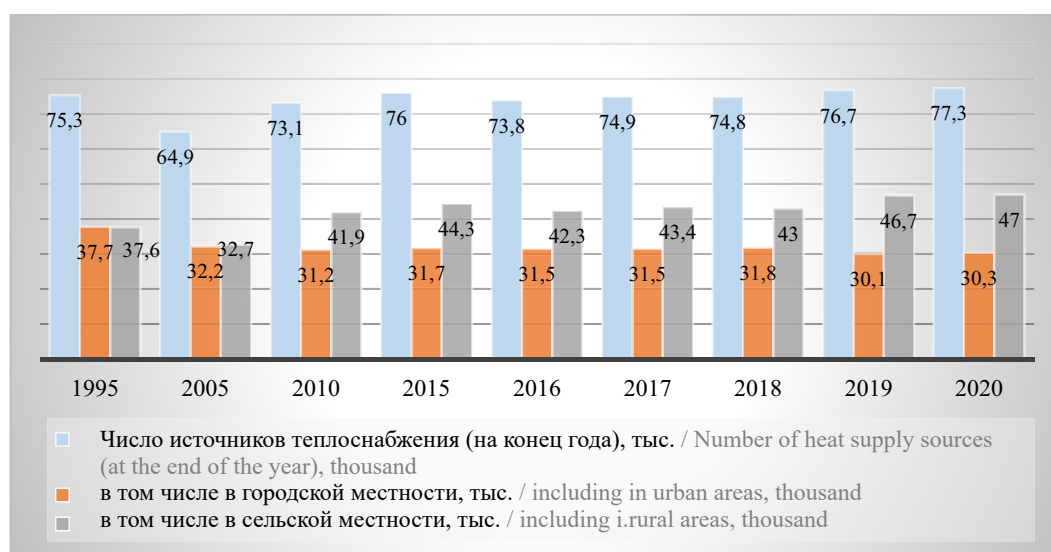


Рис. 1. Динамика количества источников теплоснабжения в России за период 1995–2020 гг. (рисунок составлен автором по данным Росстата)

Fig. 1. Dynamics of the number of heat supply sources in Russia for the period 1995–2020 (compiled by the author according to Rosstat)

к 1995 г.), а в городской местности, напротив, количество источников теплоснабжения снизилось (на 20 % за исследуемый временной интервал). Вместе с тем необходимо отметить, что объемы жилищного строительства и ввод новых объектов в эксплуатацию за рассматриваемый период показали значительный прирост, следовательно, мало развивающаяся в последние 25 лет теплоснабжающая инфраструктура при динамичном развитии жилищного строительства, вероятно, может снизить показатели качества и обеспечения теплом населения страны. В подтверждение этого тезиса заметим также, что, по данным Росстата, суммарная мощность источников теплоснабжения с 1995 по 2020 гг. снизилась на 17 %, и такое же снижение отразил показатель протяженности тепловых и паровых сетей в двухтрубном исчислении (снизился на 17 % к 2020 г. по сравнению с 1995 г.).

Специалисты отрасли фиксируют высокую изношенность системы теплоснабжения в России, что в конечном итоге приводит к ее низкой эффективности (рис. 2) [1, 2]. К 2020 г. потери тепла в сетях выросли в 2,51 раза по сравнению с 1995 г., причем в городской местности этот показатель близок к общим потерям — рост их составил 2,37 раза к 2020 г., а в сельской местности потери тепла в сетях выросли в 4,68 раза за последние 25 лет. Таким образом, можно говорить о недостаточной эффективности функционирования теплоснабжения в нашей стране, которое требует масштабной модернизации в первую очередь производственных фондов и инфраструктуры, что позволит снизить износ оборудования, а значит, будет способствовать росту эффективности и энергетической безопасности теплоснабжения.

Решение задачи модернизации отрасли и повышения ее эффективности, по мнению автора, долж-

но быть связано с внедрением современных технологий и инноваций в деятельность теплоснабжения. Однако здесь серьезным барьером становится отсутствие единой технической, инвестиционной, управленческой и организационной политики в вопросах инновационного развития теплоснабжения. Среди основных субъектов теплоснабжения, к которым принято относить органы государственной власти, единые теплоснабжающие организации (ЕТО), теплоснабжающие организации (ТСО) и конечного потребителя, субъектом, который должен взять на себя ответственность за вопросы генерации и реализации вектора инновационного развития теплоснабжения на определенной территории, могут стать единые теплоснабжающие организации, так как согласно ФЗ «О теплоснабжении» за ними закреплен статус «единого центра ответственности, модернизации и технологического развития теплоснабжения на закрепленной территории»¹.

В мировом масштабе модернизация топливно-энергетического комплекса происходит в трех направлениях: децентрализация, декарбонизация (отказ от угля) и цифровизация, что, очевидно, повлияет на рост доли новых энергетических технологий и инноваций как в мировой, так и в российской системе теплоснабжения. Эта тенденция позволяет экспертам комплекса отмечать смену энергетического уклада, суть которого заключается не в полном отказе от углеводородной энергетики, а в замене источников энергии, которые дают возможность удовлетворять растущие потребности энергии в условиях изменения структуры потребления в сторону энергоэффективных устройств и формируют свойство экологической безопасности, при котором снижается негативное воздействие на окружающую среду [3–5].

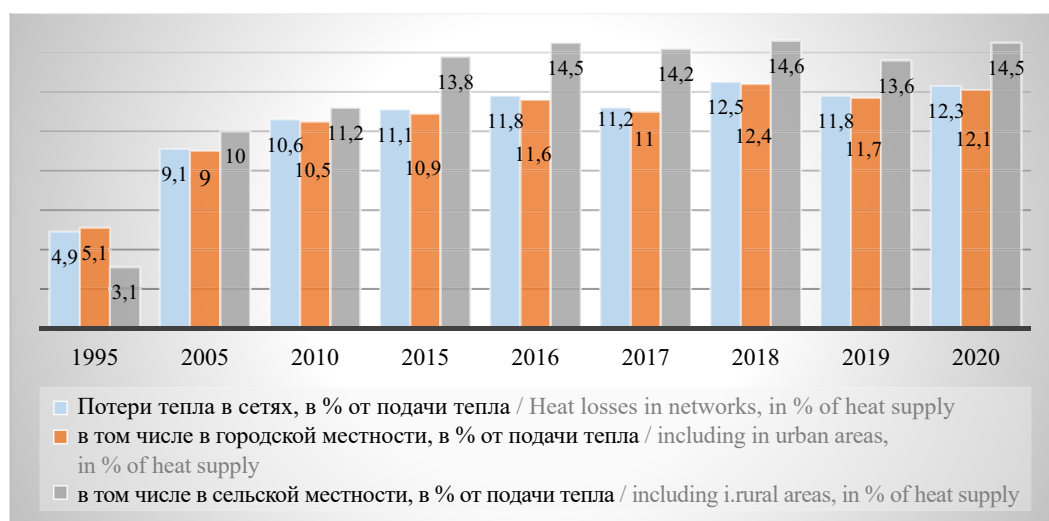


Рис. 2. Динамика потери тепла в сетях в России за период 1995–2020 гг. (рисунок составлен автором по данным Росстата)

Fig. 2. Dynamics of heat loss in networks in Russia for the period 1995–2020 (compiled by the author according to Rosstat)

¹ О теплоснабжении : Федеральный закон от 27.07.2010 № 190-ФЗ (с изм. от 02.07.2021).

Исследователь Ю.А. Плаkitкин указывает на то, что современная российская энергетика переживает дни «перехода» на энергопродукт (газ), обладающий большей энергетической ценностью, чем уголь, однако уже к концу XXI в. он прогнозирует смену газового уклада на неуглеводородный уклад, который аккумулирует альтернативные источники энергии (рис. 3), отмечая при этом, что ресурсы не полностью заместят друг друга, а поменяется их доля в общей структуре используемых энергетических ресурсов [3].

Д. Ермолаев также прогнозирует изменение спроса и структур производства в обозримом будущем в сторону возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в первую очередь за счет снижения доли централизованного теплоснабжения и повышения использования энергоэффективных устройств в источниках индивидуального отопления, что, по его мнению, приведет к перебоям в балансе энергии и мощности, т.е. серьезной трансформации сложившейся в последние 50 лет энергетической системы. На неэффективность существующего энергетического уклада, в котором электрическая и тепловая энергосистемы «пробуксовывают» и не дают возможности активного развития страны, указывает Е.Г. Гашо, который представил в своих работах принципы и факторы, способствующие переходу к новому, более эффективному, энергетическому укладу. И здесь стоит заметить, что все авторы, исследующие вопрос трансформации энергетического уклада, сходятся во мнении, что этот процесс будет сопровождаться модернизацией комплекса

теплоснабжения, внедрением новых технологических решений и характерными инновационными процессами. Как отмечено ранее, субъектом отрасли теплоснабжения, выступающим «единым центром ответственности, модернизации и технологического развития теплоснабжения на закрепленной территории», являются ЕТО, в связи с чем представляется целесообразным рассмотреть процессы инновационного развития в приложении к данному субъекту, а недостаточность теоретической и методологической проработки этого вопроса в экономической литературе вызывает необходимость исследования теоретических аспектов инновационного развития единых теплоснабжающих организаций.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Теория инноваций начала формироваться более века назад (рис. 4), но к сегодняшнему моменту стала одной из центральных для ряда экономических направлений (теория циклов, теория инновационного предпринимательства и др.).

Изначально под инновациями понимали внедрение результата научно-технических разработок, однако, как показывает история становления теории инноваций (рис. 4), нововведения уже на протяжении продолжительного периода считаются движущей силой экономического развития. В экономической литературе существует довольно большое количество определений инноваций, которые целесообразно сгруппировать по следующим признакам (табл.).

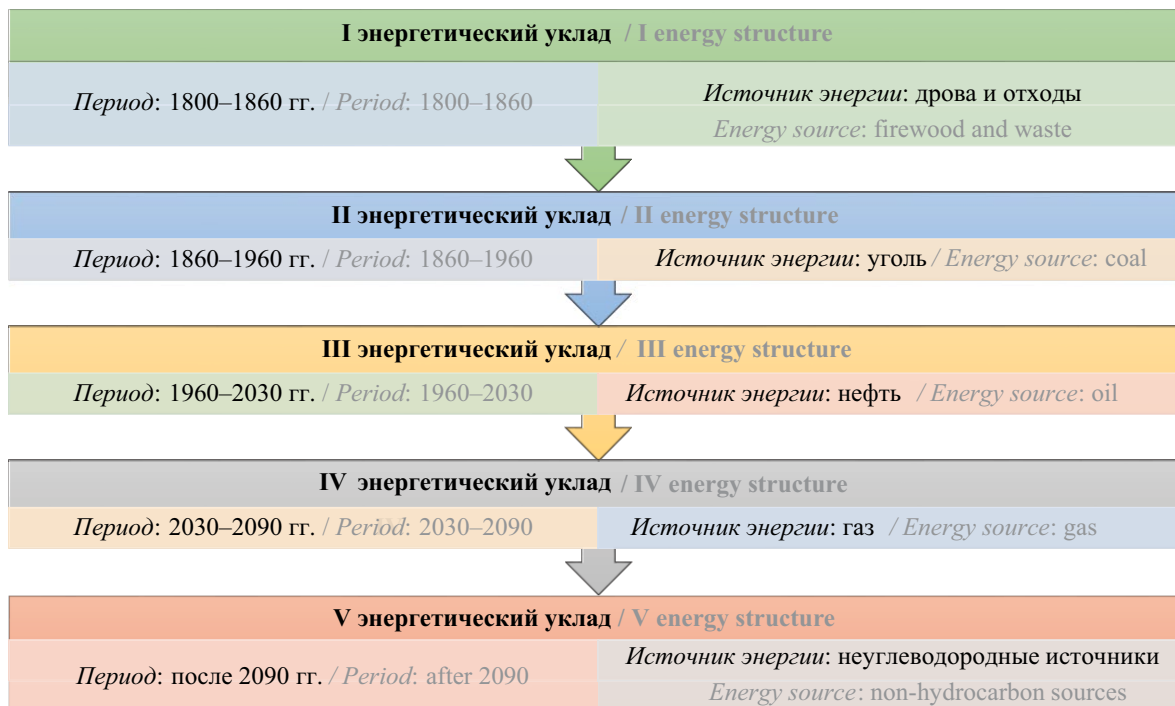


Рис. 3. Последовательность мировых энергетических укладов по Ю.А. Плаkitкину [3]

Fig. 3. The sequence of world energy patterns according to Yu.A. Plakitkin [3]

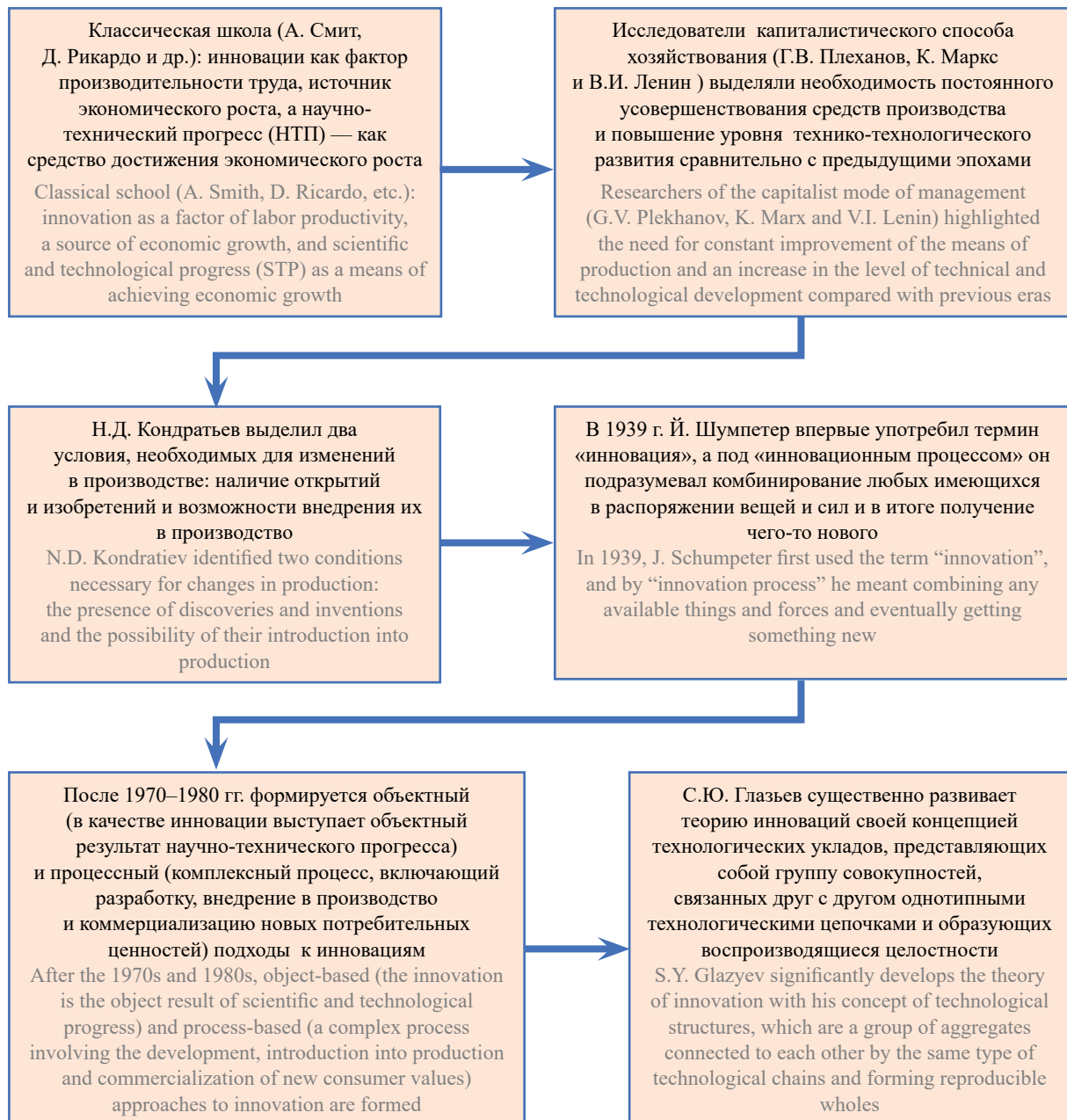


Рис. 4. Эволюция теории инноваций (рисунок составлен автором на основе работы Н.Ю. Сайбель и А.С. Косарева [6])
 Fig. 4. The evolution of the theory of innovation (compiled by the author based on the work of N.Yu. Saybel and A.S. Kosarev [6])

Из рассмотренных подходов к определению инноваций нам близок подход, учитывающий все аспекты инновационной деятельности: и производство нового продукта, и создание нового технологического процесса, и инновации организационного и управленческого характера. В связи с этим важно отметить, что под инновациями в рамках настоящего исследования понимается внедрение изменений продуктового, технологического и организационно-экономического характера в целях повышения эффективности деятельности системы, к которой предполагается приложить инновационное воздействие, т.е. осуществить ее инновационное развитие.

Это положение вызывает необходимость выяснить, что понимается под инновационным развитием. Потребность в уточнении данного понятия обусловлена разнообразием подходов к его определению. К примеру, в отечественной литературе можно встретить подходы, определяющие инновационное развитие как стратегию модернизации интеллектуальной экономики, или же как модель экономического развития на основе инноваций, или как интеллектуализацию производства и т.д. Ученые Р. Нельсон и С.Дж. Уинтер центральной категорией инновационного развития называют рутину — деятельность организаций, занятых на протяжении продолжительного периода времени однотипной

Подходы к определению инноваций (составлена автором на основе работ В.И. Кудашова и М.М. Шоломицкой [7], Н.Ю. Сайбель и А.С. Косарева [6])

Approaches to the definition of innovations (compiled by the author based on the works of V.I. Kudashev and M.M. Sholomitskaya [7], N.Yu. Saybel and A.S. Kosarev [6])

Признак группировки Grouping attribute	Определение Definition	Авторы Authors
Инновация рассматривается как новая продукция Innovation is considered as a new product	Инновация представляет собой преобразования новой идеи или изобретения в продукцию, обладающую принципиально новыми технико-экономическими показателями Innovation is the transformation of a new idea or invention into products with fundamentally new technical and economic indicators	Ф. Котлер, В. Кингстон, Ф. Никсон, Б. Санто и др. F. Kotler, V. Kingston, F. Nixon, B. Santo et al.
Инновация рассматривается в виде новых процессов и форм управления Innovation is considered in the form of new processes and forms of management	Инновация — это совокупность технических, производственных и коммерческих мероприятий, приводящих к появлению на рынке новых и улучшенных промышленных процессов и оборудования Innovation is a set of technical, industrial and commercial measures that lead to the appearance of new and improved industrial processes and equipment on the market	Ф. Никсон, Б. Твисс, П.Н. Завлин, А.К. Казанцев, Л.Э. Мендели, Н.Р. Салохетдинова и др. F. Nixon, B. Twiss, P.N. Zavlin, A.K. Kazantsev, L.E. Mindeli, N.R. Salakhedinova et al.
Инновация рассматривается в аспекте нового продукта, процесса и организационно-экономической формы Innovation is considered in the aspect of a new product, process and organizational and economic form	Результатом инновационной деятельности является новый или усовершенствованный продукт, внедренный на рынке, новый или усовершенствованный технологический процесс, используемый в практической деятельности, либо новая или усовершенствованная организационно-экономическая форма, обеспечивающая необходимую выгоду The result of innovative activity is a new or improved product introduced on the market, a new or improved technological process used in practice, or a new or improved organizational and economic form that provides the necessary benefits	И. Шумпетер, К.Р. Макконнелл, С.Л. Брю, В.И. Винокуров, В.И. Кудашов, М.М. Шоломицкая, Е.А. Герман, В.А. Фатхутдинов и др. I. Schumpeter, K.R. McConnell, S.L. Bryu, V.I. Vinokurov, V.I. Kudashev, M.M. Sholomitskaya, E.A. Herman, V.A. Fatkhutdinov et al.

работой, и в рутинизации, по мнению ученых, заключается форма хранения специфических организационных знаний.

В этом аспекте интерес вызывает попытка Н.А. Багдасарян выделить четыре основополагающих подхода к содержанию термина «инновационное развитие» и определить их характерные признаки. Результаты исследования названного автора представим на рис. 5.

Социально-гуманистический подход, представители которого (А.В. Бузгалин и А.И. Колганов) определяют инновационное развитие как «выход на новый путь к новым целям при помощи новых (но во многом уже имеющихся в наличии) средств с приоритетом развития человеческих качеств» [9], вызывает интерес в части рассмотрения инноваций среди прочего в приложении к природе и экологии, что соответствует принципу экологической безопасности теплоснабжения при повышении эффективности деятельности теплоснабжения в России за счет модернизации отрасли и внедрения современных технологий и инноваций в ее деятельность. А необходимость реализации принципов энергоэф-

фективности и ресурсосбережения в теплоснабжении в условиях перехода на новый энергетический уклад, которые позволяют минимизировать негативное влияние на окружающую среду, перекликается с идеями подхода инновационного развития в парадигме больших циклов и идеологии гуманистической ноосферной цивилизации, представители которого среди приоритетных направлений развития выделили трансформацию энергосектора, переход к энергосберегающему типу воспроизводства, освоение принципиально новых технологий генерации, передачи и использования энергии. В работе Б.Н. Кузык, Ю.В. Яковец «Россия–2050: стратегия инновационного прорыва» инновационное развитие представляется как «экономика будущего, становление которой идет под воздействием экологических проблем» [10].

Рассмотрение С.Ю. Глазьевым инновационного развития как стратегии опережающего развития, предполагающей активизацию инновационного потенциала и обеспечение научно-технологического лидерства в отраслях, наиболее значимых для пятого и шестого технологических укладов [11], также

<p>Социально-гуманистический подход Socio-humanistic approach</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Представители:</i> А.В. Бузгалин, А.И. Колганов, М.И. Воейков • <i>Основная мысль:</i> рассматривают инновационное развитие в парадигме социально-гуманистической основы, где главной целью является развитие человека • <i>Основа подхода:</i> рассмотрение инноваций в приложении к социальной сфере (образованию, здравоохранению, культуре, науке, обществу, природе, экологии), а сфера материального производства является вторичной • <i>Representatives:</i> A.V. Buzgalin, A.I. Kolganov, M.I. Voeuykov • <i>The main idea:</i> consider innovative development in the paradigm of the socio-humanistic basis, where the main goal is human development • <i>The basis of the approach:</i> consider innovations in the application to the social sphere (education, healthcare, culture, science, society, nature, ecology), and the sphere of material production is secondary
<p>Инновационное развитие в парадигме технологических укладов Innovative development in the paradigm of technological structures</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Представители:</i> С.Ю. Глазьев • <i>Основная мысль:</i> предлагает проводить инновационное развитие через активизацию инновационного потенциала и обеспечения научно-технологического лидерства в отраслях, наиболее значимых для пятого и шестого технологических укладов • <i>Основа подхода:</i> акцент на высокотехнологичных отраслях материального производства, а сфера образования, науки и здравоохранения вторична • <i>Representatives:</i> S.Y. Glazyev • <i>The main idea:</i> proposes to carry out innovative development through the activation of innovative potential and ensuring scientific and technological leadership in the industries most important for the fifth and sixth technological orders • <i>The basis of the approach:</i> emphasis on high-tech branches of material production, and the sphere of education, science and healthcare is secondary
<p>Инновационное развитие в парадигме больших циклов и идеологии гуманистической ноосферной цивилизации Innovative development in the paradigm of large cycles and the ideology of humanistic noospheric civilization</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Представители:</i> Н.Д. Кондратьев, В.И. Вернадский, П.И. Сорокин, Б.Н. Кузык, Ю.В. Яковец • <i>Основная мысль:</i> идея подхода выражается в гуманизации технологий, инноваций, прежде всего, на удовлетворение потребностей человека в экологически чистом продовольствии в укреплении здоровья, повышении уровня образования, сохранения и обогащения культурного наследия • <i>Основа подхода:</i> акцент на экологизацию технологий, освоение и распространение возобновляемых источников энергии • <i>Representatives:</i> N.D. Kondratiev, V.I. Vernadsky, P.I. Sorokin, B.N. Kuzyk, Yu.V. Yakovets • <i>The main idea:</i> the idea of the approach is expressed in the humanization of technologies, innovations, primarily to meet human needs for environmentally friendly food in health promotion, raising the level of education, preservation and enrichment of cultural heritage • <i>The basis of the approach:</i> emphasis on the greening of technologies, the development and distribution of renewable energy sources
<p>Инновационное развитие в парадигме системного подхода Innovative development in the paradigm of a systematic approach</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Представители:</i> Л.Р. Батукова • <i>Основная мысль:</i> постиндустриальный уклад должен формироваться по геоэкономическому принципу, т.е. через полноценный переход к модели инновационного развития на уровне крупных, соседствующих регионов мира • <i>Основа подхода:</i> системность рассматривается как основа перехода к модели инновационного развития — формируется самовоспроизводящая система мирового индустриального развития, образованная локализованными, но совместимыми, взаимодополняющими и взаимостимулирующими экономиками крупных мировых регионов, каждый из которых является полноценным центром инновационного роста • <i>Representatives:</i> L.R. Batukova • <i>The main idea:</i> the post-industrial way of life should be formed according to the geoeconomic principle. That is, through a full-fledged transition to a model of innovative development at the level of large, neighboring regions of the world • <i>The basis of the approach:</i> consistency is considered as the basis for the transition to the model of innovative development — a self-reproducing system of global industrial development is being formed, formed by localized, but compatible, complementary and mutually stimulating economies of large world regions, each of which is a full-fledged center of innovative growth

Рис. 5. Подходы к определению инновационного развития (рисунок составлен автором на основе работы Н.А. Багдасарян [8])
Fig. 5. Approaches to the definition of innovative development (compiled by the author based on the work of N.A. Bagdasaryan [8])

подтверждает положение о том, что использование модернизированного оборудования и технологических инноваций в теплоснабжении способно в условиях перехода на новый энергетический уклад снизить негативные воздействия отрасли на окружающую среду и экологию.

Подход Л.Р. Батуковой, которая идентифицировала инновационное развитие как «категорию, определяющую модель воспроизводства индустриального сектора экономики единой экономической территории», в рамках приложения к инновационному развитию ЕТО вызывает интерес в части представления инновационного развития как системы сбалансированных экономических, институциональных и социальных отношений, влияющих на эффективность этой системы и ее устойчивое развитие [12]. Напомним, что концепция устойчивого развития также включает в себя направление, связанное с заботой об экологии и снижением негативного воздействия на окружающую среду.

Таким образом, несмотря на разнообразие подходов к инновационному развитию, сложившихся в рассмотренных исследованиях, выявление их характерных черт приводит нас к выводу, что элементы каждого из подходов целесообразно приложить к определению инновационного развития объекта настоящего исследования — единым теплоснабжающим организациям [13–15]. В связи с чем под инновационным развитием ЕТО предлагается понимать системное, стратегическое развитие данного субъекта теплоснабжения, а также всей системы теплоснабжения на закрепленной за ЕТО территории, за счет внедрения продуктовых, технологических и организационно-управленческих инноваций на основе доминирования принципа экологической безопасности теплоснабжения при повышении эффективности его деятельности.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В экономической литературе существует довольно много попыток увязать цикличность экономического роста с инновационным развитием. В этом вопросе самыми известными стали концептуальные подходы Н.Д. Кондратьева и Й. Шумпетера.

Рассмотренные Н.Д. Кондратьевым большие циклы (длинные волны) повлияли на дальнейшее изучение причин этих циклов. Инновации были названы одной из основной причин их смены. Н.Д. Кондратьев обосновал цикличность сменяющихся фаз в промышленном производстве, создав модель циклов, в которую входили короткие волны (малые циклы Дж. Китчина), средние (промышленно-капиталистические циклы К. Жюгляра) и длинные волны (большие циклы конъюнктуры), выявив закономерности, сопровождающие длительные колебания экономической конъюнктуры, которые выражаются (в той или иной комбинации) в глубоких изменениях техники производства

и обмена, которым в свою очередь предшествуют значительные технические изобретения и открытия. Исследователь отмечал, что при условии накопления значительного капитала и технической основы, необходимой для нового уровня производительных сил, начинается волна подъема очередного большого цикла, перед началом которой происходят структурные изменения в хозяйственной жизни общества, которые находят отражение в глубоких изменениях техники производства [16]. Н.Д. Кондратьев непосредственно не занимался изучением инновационного развития, однако сформулированная им волновая теория отразила закономерность повышения скорости преодоления кризисного экономического цикла из-за внедрения инноваций.

Й. Шумпетер в своих работах сделал попытку соотнести мультипликативный эффект от внедрения инноваций с волнами инвестиций и кондратьевскими циклами, считая, что после успешного внедрения инноваций в той же самой отрасли или смежных с ней отраслях следующие инновации будут появляться с большей вероятностью и скоростью. Й. Шумпетер в своей теории инновационного предпринимательства обосновывал необходимость постоянных нововведений, определяя их катализатором научно-технического прогресса и большого цикла экономической конъюнктуры Н.Д. Кондратьева. В попытке охарактеризовать эти силы, являющиеся катализатором экономической динамики, Й. Шумпетер разделил каждый цикл на две части: создание и внедрение инноваций (инновационная часть) и широкое распространение инноваций (имитационная часть). Схожесть идей Й. Шумпетера и Н.Д. Кондратьева можно отметить в двух аспектах: Й. Шумпетер полагал, что инновации не происходят каждый день, поэтому экономическое развитие, которое они приносят, носит скачкообразный характер, как и смена волн по Н.Д. Кондратьеву; оба исследователя приходят к выводу, что двигателем экономического развития выступают сложившиеся условия, способствующие разработке и внедрению инноваций.

Однако теория циклов предпринимательской активности не всеми воспринималась однозначно: С. Кузнец отмечал, что Й. Шумпетер не предоставил четкой хронологии циклов (которую в итоге представил сам С. Кузнец (рис. 6)), при этом необоснованно утверждал, что «каждый Кондратьевский цикл включал в себя суммарное число циклов Жюгляра, а каждый Жюгляровский в свою очередь — суммарное число циклов Китчина» [17]. С. Кузнец определял необходимость создания особых условий для того, чтобы возникла инновационная и инвестиционная активности в вопросах создания новых товаров. И роста производства здесь будет недостаточно, так как при отсутствии инновационного развития в условиях роста производства создается капитал устаревшего образца и эффектив-



Рис. 6. Хронология больших циклов Н.Д. Кондратьева, составленная С. Кузнецом (рисунок составлен автором на основе работы Н.А. Маматовой и А.В. Маматова [18])

Fig. 6. Chronology of N.D. Kondratiev's large cycles, compiled by S. Kuznetsov (compiled by the author on the basis of the work of N.A. Mamatova and A.V. Mamatov [18])

ность производства снижается, что в конечном итоге приведет к спаду. Здесь исследователь разделяет мнения сторонников инновационной концепции циклов, определяя, что для очередной инновации необходим некий экзогенный толчок [18].

Дальнейшие исследования инновационного развития дополняли и разъясняли идеи Н.Д. Кондратьева и Й. Шумпетера. М. Калецки относил инновации к импульсам, которые обеспечивают в долгосрочной перспективе сокращение продолжительности экономических спадов и удлиняют периоды подъемов. Концепция Г. Менша предполагала, что появление инноваций стимулирует развитие новых предприятий, которые способствуют более масштабному экономическому росту, но, когда инновации исчерпывают свой потенциал, возникает ситуация застоя в экономическом развитии, которую автор определяет термином «технологический пат». Он приходится на фазу рецессии длинной волны Н.Д. Кондратьева. Идеи Г. Менша нашли в дальнейшем отражение в работах К. Фримена и Дж. Кларка, которые ввели в научный оборот понятия стадийности (фаз) развития нововведений и их распространения (диффузии).

Исследователь В.Ю. Яковец в серии своих трудов взаимоувязал содержание, структуру и механизм реализации циклов нововведений с циклами развития науки, изобретений, смены поколений техники и научно-технических направлений. Под инновационным циклом автор понимал период от теоретического рождения нововведения до этапа, когда инновация, материализовавшись и реализуясь, уже исчерпала свой потенциал, и на ее место готова

прийти другая. Интерес вызывает классификация инноваций и их значимость в соответствии с ней: автор выделяет крупнейшие изобретения, которые меняют облик производственного уклада, а также мелкие и средние изобретения, которые служат только для того, чтобы продлить существование уклада, не меняя существенно его облика.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Среди современных подходов, основанных на попытке увязать цикличность экономического роста с инновационным развитием, особо выделяется концепция технологических укладов С.Ю. Глазьева, который, описывая переход экономической системы от одного технологического базиса к другому, показывает ведущее значение новых технологических систем в неравновесной динамике экономического роста. Материальные основы для становления нового уклада формируются в результате развития предыдущего уклада, а дальнейшее совершенствование нового уклада обеспечивается реализацией его производственного потенциала, созданного в ходе предшествующего этапа технико-технического развития. По мере устаревания уклада, он теряет свое влияние на темпы роста. Одновременно получает развитие новый уклад и темпы роста экономики повышаются. В качестве толчка к переходу от одного уклада к последующему выступают кластеры радикальных инноваций, созданные на основе пионерных и принципиально новых изобретений [11]. Можно сказать, что данная концепция является продолжением теории длинных волн Н.Д. Кондратьева, с одной стороны, и определяет смену технологических укладов

дов в совпадении со сменой инновационных волн Й. Шумпетера, с другой стороны. Будущий технологический уклад зарождается в недрах текущего и вступает в силу, когда последний исчерпывает свою возможность и теряет эффективность и перспективы к развитию.

Изучение подходов к инновационному развитию позволяет заключить, что, несмотря на кризисные явления, которые могут происходить с экономическими системами и которые естественны в своей цикличности, снижение темпов развития этих систем преодолевается с большей скоростью в ситуациях, когда усилия системы сосредотачиваются на разработке и коммерциализации инноваций, и инновационная деятельность становится определяющим фактором экономического развития системы. Именно поэтому в качестве выхода из ситуации неэффективной деятельности теплоснабжения рассматривается его инновационное развитие, а двигателем инноваций, в соответствии с закрепленными полномочиями и функциональными обязанностями, должны стать ЕТО.

Таким образом, рассмотрено довольно большое количество попыток увязать цикличность экономического роста с инновационным развитием, большинство из которых приводят к выводу, что прорывные инновации способствуют смене укладов (в большинстве исследований — технологических укладов), которые влияют на смену энергетических укладов, так как в основе смены энергетического уклада лежат новые технологические решения в вопросах использования энергии и энергетических ресурсов [19, 20]. Если говорить об инновационном развитии ЕТО, то в условиях смены энергетических укладов, конечно, в первую очередь целесообразно говорить о мелких и средних нововведениях по классификации В.Ю. Яковца, которые будут способствовать поддержанию функционирования нового энергетического уклада, нежели о прорывных инновациях, которые приведут к изменению облика энергетического уклада. При этом в процес-

се инновационного развития ЕТО не стоит отрицать парадигму открытых инноваций (Г. Чесбро), согласно которой данный хозяйствующий субъект может использовать не только собственные, но и внешние идеи в инновационном процессе [21].

Также важно отметить, что в 1960–1970 гг. сформировалась обширная база исследований, связанных с инновациями, которые сосредоточены на трех взаимосвязанных областях:

- создателем инноваций рассматривается организация, а ее чувствительность и восприимчивость к инновациям зависит от сложившихся в ней организационных методов и форм управления;
- поведение организации на рынке в части реализации инновации зависит от маркетинговой составляющей, факторов риска, присущих внедрению инновации, а также экономических показателей инновации;
- возможности развития инновационного потенциала и выхода на рынок с инновационным продуктом для организации определяются в значительной степени государственной политикой в области инновационного развития [22].

Соответственно, для формирования направлений и путей инновационного развития ЕТО следует учитывать и данные аспекты условий реализации инноваций в организации.

В заключение отметим, что инновационное развитие должно стать для единых теплоснабжающих организаций необходимостью, для чего целесообразно обеспечить инновационную восприимчивость ЕТО, выстроить инновационно активные формы и модели организации их деятельности, которые подразумевают интеграцию науки и производства, а также создать благоприятный инновационный климат для названных процессов. Поэтому целесообразно в перспективных исследованиях рассмотреть концептуальные основы выбора приоритетов и направлений инновационного развития единых теплоснабжающих организаций.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Stennikov V., Penkovskii A. Problems of Russian heat supply and ways of their solution // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 219. P. 02003. DOI: 10.1051/e3sconf/202021902003
2. Štreimikienė D., Strielkowski W., 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
3. Плакиткин Ю.А. Закономерности инновационного развития мировой экономики. Энергетические уклады XXI века // Экологический вестник России. 2018. URL: <http://ecovestnik.ru/index.php/stati-2/2878-osobennosti-mirovykh-energeticheskikh-ukladov-khkhhi-veka>
4. 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
5. 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

6. Сайбель Н.Ю., Косарев А.С. Эволюция теории инноваций // *Финансы и кредит*. 2017. Т. 23. № 14 (734). С. 838–850. DOI: 10.24891/фс.23.14.838

7. Кудашов В.И., Шоломицкая М.М. Генезис теории инновационного развития // *Экономика и управление*. 2011. № 3 (27). С. 58–65.

8. Багдасарян Н.А. «Инновационное развитие»: анализ понятия и уточнение определения // *Бюллетень науки и практики*. 2017. № 7 (20). С. 93–100. DOI: 10.5281/zenodo.826491

9. Колганов А.И., Бузгалин А.В. Полемические заметки о целевых акцентах альтернативной социально-экономической стратегии // *Социологические исследования*. 2014. № 3 (359). С. 120–130.

10. Кузык Б.Н., Яковец Ю.В. Россия–2050: стратегия инновационного прорыва. М. : Экономика, 2005. 618 с.

11. Глазьев С.Ю. Стратегия опережающего развития России в условиях глобального кризиса // *Стратегия опережающего развития – III*. Т. 1. : Российские модернизации: Диагнозы и прогнозы / под ред. А.В. Бузгалина и Р. Крумма. М. : ЛЕНАНД, 2011. С. 356–358.

12. Батукова Л.Р. К вопросу о смене экономической модели. Часть I: исторические трансформации структурно-институциональной организации промышленного сектора (рыночной) экономики в XX веке // *Наука и современность*. 2016. № 1 (7). С. 28–56. DOI: 10.17117/ns.2016.01.028

13. 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. Vol. 263. Issue 2. P. 05028. DOI: 10.1051/e3s-conf/202126305028

14. Gordin S.A., Sosnin A.A., Zaychenko I.V. Improving the efficiency of autonomous heat supply

systems by implementing integrated control systems // *Journal of Physics Conference Series*. 2021. Vol. 2096. Issue 1. P. 012087. DOI: 10.1088/1742-6596/2096/1/012087

15. Andreev Y.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. P. 042027. DOI: 10.1088/1742-6596/1683/4/042027

16. Кондратьев Н.Д. Большие циклы конъюнктуры и теория предвидения. М. : Экономика, 2002. С. 390–391.

17. Кузнец С. Экономическая система д-ра Шумпетера, излагаемая и критикуемая; Перлман М. Две фазы заинтересованности Кузнецца Шумпетером. Харьков : ИД «ИНЖЕК», 2013. 128 с.

18. Маматова Н.А., Маматов А.В. Теории инноваций : учеб. пособие. Белгород : НИУ «БелГУ», 2017. 99 с.

19. 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

20. 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

21. Evseev E., Kisel T. Integrated efficiency evaluation of the heat-supplying enterprises activity // *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 164. Issue 3. P. 01024. DOI: 10.1051/e3sconf/202016401024

22. Evseev E., Kisel T. Management in the heat-supplying organizations on the basis of balance models // *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 170. Issue 3. P. 01112. DOI: 10.1051/matecconf/201817001112

Поступила в редакцию 14 июля 2022 г.

Принята в доработанном виде 5 августа 2022 г.

Одобрена для публикации 5 августа 2022 г.

ОБ АВТОРЕ: 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.

REFERENCES

1. Stennikov V., Penkovskii A. Problems of Russian heat supply and ways of their solution. *E3S Web of Conferences*. 2020; 219:02003. DOI: 10.1051/e3s-conf/202021902003

2. Štreimikienė D., Strielkowski W., 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

3. Plakitkin Yu.A. Patterns of innovative development of the world economy. *Ecological Bulletin of Russia*. 2018. URL: <http://ecovestnik.ru/index.php/stati-2/2878-osobennosti-mirovykh-energeticheskikh-ukladov-khkhhi-veka> (rus.).

4. 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 com-

mon utilities services. *E3S Web of Conferences*. 2021; 265:04020. DOI: 10.1051/e3sconf/202126504020

5. 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

6. Saibel' N.Yu., Kosarev A.S. Evolution of the innovation theory. *Finance and Credit*. 2017; 23(14):838-850. DOI: 10.24891/fc.23.14.838 (rus.).

7. Kudashov V.I., Sholomitskaya M.M. Genesis of the theory of innovative development. *Economics and Management*. 2011; 3(27):58-65. (rus.).

8. Bagdasaryan N. Innovative development: analysis of concept and determination of definitions. *Bulletin of Science and Practice*. 2017; 7:93-100. DOI: 10.5281/zenodo.826491 (rus.).

9. Kolganov A.I., Buzgalin A.V. Polemical notes on purposeful accentuations in alternative social and economic strategy. *Sociological Research*. 2014; 3(359):120-130. (rus.).

10. Kuzyk B.N., Yakovets Yu.V. *Russia-2050: strategy of innovative breakthrough*. Moscow, Ekonomika Publ., 2005; 618. (rus.).

11. Glazyev S.Yu. Strategy of advanced development of Russia in the conditions of the global crisis. *Strategy of advanced development — III to the degree. Vol. 1. : Russian modernization: Diagnoses and forecasts* / ed. A.V. Buzgalina R.I. Krumma. Moscow, LENAND Publ., 2011; 356-358. (rus.).

12. Batukova L.R. To a question of economic model change. Part I: historical transformations of the structural and institutional organization of industrial sector (market) economy in the XX century. *Science and Modernity*. 2016; 1(7):28-56. DOI: 10.17117/ns.2016.01.028

13. 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(2):05028. DOI: 10.1051/e3sconf/202126305028

14. Gordin S.A., Sosnin A.A., Zaychenko I.V. Improving the efficiency of autonomous heat supply systems by implementing integrated control systems. *Journal of Physics Conference Series*. 2021; 2096(1):012087. DOI: 10.1088/1742-6596/2096/1/012087

15. Andreev Y.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; 1683:042027. DOI: 10.1088/1742-6596/1683/4/042027

16. Kondratiev N.D. *Large cycles of conjuncture and the theory of foresight*. Moscow, Ekonomika Publ., 2002; 390-391. (rus.).

17. Kuznets S.Dr. *Schumpeter's economic system, expounded and criticized*; Perlman M. *Two phases of the Blacksmith's interest in Schumpeter*. Kharkiv, Publishing house "INJEK", 2013; 128. (rus.).

18. Mamatova N.A., Mamatov A.V. *Theories of innovation : textbook stipend*. Belgorod, NRU "BelGU", 2017; 99. (rus.).

19. 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

20. 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

21. Evseev E., Kisel T. Integrated efficiency evaluation of the heat-supplying enterprises activity. *E3S Web of Conferences*. 2020; 164(3):01024. DOI: 10.1051/e3sconf/202016401024

22. Evseev E., Kisel T. Management in the heat-supplying organizations on the basis of balance models. *MATEC Web of Conferences*. 2018; 170(3):01112. DOI: 10.1051/matecconf/201817001112

Received July 14, 2022.

Adopted in revised form on August 5, 2022.

Approved for publication on August 5, 2022.

BIONOTES: Valeria 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 RISC: 888163, Scopus: 57194442650, ResearcherID: ABI-2788-2020, ORCID: 0000-0002-5995-8585; leram86@mail.ru.

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 37:69

DOI: 10.22227/1997-0935.2022.8.1085-1095

Инновационное развитие системы дополнительного профессионального образования для специалистов строительной отрасли

Ирина Викторовна Каракозова^{1,2}, Юлия Сергеевна Прохорова²

¹ Научно-исследовательский аналитический центр (НИАЦ); г. Москва, Россия;

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Если высшее профессиональное образование можно отнести к стратегическому развитию специалистов строительной отрасли, поскольку в период обучения закладывается начальная база профессиональных знаний, умений, навыков, то дополнительное профессиональное образование (ДПО) представляет собой тактическое решение вопросов получения специализированных знаний, умений и навыков, которые требуются специалисту в данный момент времени для решения поставленных профессиональных задач. Современный тренд в рамках информационного общества — это концепция непрерывного образования на протяжении всей жизни с учетом возможностей и потребностей специалиста строительной отрасли. Непрерывное образование направлено на обеспечение прав человека: на свое развитие, смены вида деятельности, профессии. Развитие системы непрерывного образования специалистов строительной отрасли выступает в качестве важнейшего направления инновационного развития образовательной деятельности. Для этого необходима гибкая система инструментов, форм, методов, моделей, учитывающих организационные, экономические, цифровые и инновационные изменения, способствующие повышению качества образования. Результаты проведенных исследований показали, что развитие системы ДПО столкнулось с рядом проблем объективного и субъективного характера из-за отсутствия отдельных организационных преобразований, учитывающих современные потребности рынка.

Материалы и методы. Применены системный подход, общетеоретические методы познания (анализ, синтез, аналогия, обобщение, сопоставление, сравнение и др.), а также графическое моделирование.

Результаты. Приведен подход, дополняющий российскую экономическую теорию методикой определения результативности внедрения управленческих решений по процессу инновационного развития системы ДПО и позволяющий проводить оценку способности данной образовательной системы адаптироваться к условиям динамично меняющегося рынка труда.

Выводы. Проведенный анализ доказывает, что эффективное развитие организационных отношений управления имеет особую значимость и может быть реализовано на основе научно обоснованного алгоритма, который позволит в конечном итоге повысить экономическую эффективность и управляемость системы ДПО.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: система образования, дополнительное профессиональное образование, обучение взрослых, дорожная карта, инновационное развитие, организационные изменения, база данных

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Каракозова И.В., Прохорова Ю.С. Инновационное развитие системы дополнительного профессионального образования для специалистов строительной отрасли // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 8. С. 1085–1095. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.8.1085-1095

Автор, ответственный за переписку: Юлия Сергеевна Прохорова, eshly.06@mail.ru.

Innovative development of the system of additional professional education for specialists of the construction industry

Irina V. Karakozova^{1,2}, Yulia S. Prokhorova²

¹ Scientific Research Think Tank; Moscow, Russian Federation;

² Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU); Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. If higher professional education can be attributed to the strategic development of specialists in the construction industry, since during the training period they lay the initial base of professional knowledge, skills, skills, then additional professional education is a tactical solution to the issues of obtaining specialized knowledge, skills and abilities that a specialist needs at a given time to solve professional tasks. The modern trend within the information society is the concept of lifelong learning, taking into account the capabilities and needs of a specialist in the construction industry. Continuing education is aimed at ensuring human rights: on their development, changing the type of activity, profession.

The development of the system of continuous education of specialists in the construction industry acts as the most important direction of innovative development of educational activities. This requires a flexible system of tools, forms, methods, models that take into account organizational, economic, digital and innovative changes that contribute to improving the quality of education. The results of the conducted research have shown that the development of the system of additional professional education has faced a number of problems of an objective and subjective nature due to the lack of separate organizational transformations that take into account the modern needs of the market.

Materials and methods. A systematic approach, general theoretical methods of cognition (analysis, synthesis, analogy, generalization, comparison, comparison, and others), as well as graphical modeling.

Results. An approach is presented that complements the Russian economic theory with a methodology for determining the effectiveness of implementing management decisions on the process of innovative development of the system of additional vocational education, and allows assessing the ability of this educational system to adapt to the conditions of a dynamically changing labor market.

Conclusions. The analysis proves that the effective development of organizational management relations is of particular importance and can be implemented on the basis of a scientifically based algorithm that will ultimately improve the economic efficiency and manageability of the system of additional vocational education.

KEYWORDS: education system, additional professional education, adult education, roadmap, innovative development, organizational changes, database

FOR CITATION: Karakozova I.V., Prokhorova Yu.S. Innovative development of the system of additional professional education for specialists of the construction industry. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2022; 17(8):1085-1095. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.8.1085-1095 (rus.).

Corresponding author: Yulia S. Prokhorova, eshly.06@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Построение единой непрерывной многоуровневой системы подготовки и профессиональной переподготовки (ПП) кадров, а также ее эффективное функционирование в современных реалиях является основным направлением кадровой государственной политики¹. В качестве актуальных проблем в сфере обеспечения строительной отрасли кадрами в настоящее время следует отметить дефицит профессиональных кадров, причем как рабочих, так и инженерно-технического персонала; обучение учащихся в средних и высших учебных заведениях не соответствует ожиданиям и требованиям работодателей; неактуальность как образовательных программ (ОП), реализуемых в учебных заведениях, так и отсутствие соответствующих знаний у профессорско-преподавательского состава в области внедрения новых технологий и инновационных ресурсов. Кроме того, согласно Стратегии инновационного развития строительной отрасли Российской Федерации до 2030 года¹ в РФ снизилась эффективность работы подразделений, участвующих в реализации программ повышения квалификации (ПК) или программ профессионального дополнительного образования. А это подтверждает необходимость проведения отдельных мероприятий (организационных, экономических, инновационных, цифровых), направленных на изменение подхода к организации и проведению образовательного процесса, ориентированного на повышение профессионального уровня специалистов строительной отрасли.

Одна из главных задач современного общества, что соответствует стратегическим целям развития РФ, — постоянное совершенствование накопленных знаний, умений и навыков, повышение уровня

профессиональной компетентности, что в целом обеспечивает готовность и оперативность как руководителя, так и рядового специалиста строительной сферы находить пути решения при возникновении производственных проблем.

Сегодня существуют отдельные противоречия, отражающие развитие общества в современных условиях и его восприятие новых подходов к повышению уровня профессионализма. К таким противоречиям [1] следует отнести противоречия между потребностями информационного общества в инновационном развитии, а значит в инновационном типе образования, и консерватизмом отечественной системы профессионального образования; между требованиями работодателей к качеству подготовки специалистов и слабой ориентированностью системы профессионального образования на эти требования.

Сложившаяся ситуация подтверждает целесообразность поиска путей инновационного развития системы дополнительного профессионального образования (ДПО) для специалистов строительной отрасли.

Вопросы ДПО интересуют многих российских ученых. Н.М. Блинов [2], В.В. Валентинов [3], Л.И. Евенко [4, 5], Н.Н. Данилова [6], А.П. Егоршин [7], О. Перминова [8], Е.А. Максимова [9], Э.Ф. Зеер [10], С.Г. Вершловский [11], Е.М. Дорожкин [12–14] и другие [15–18] в своих работах отражают результаты исследования и приходят к выводу, что развитие современного общества обусловлено процессом глобализации, политической и экономической обстановкой, интернационализацией, парадигмой непрерывного развития личностной компетенции на протяжении всей жизни. Все это повлияло на потребность человека быстро адаптироваться в условиях нестабильной социально-экономической среды. Сегодняшний тренд образования направлен на предоставление возможности человеку получить

¹ Стратегия инновационного развития строительной отрасли Российской Федерации до 2030 года. URL: https://stroim.mos.ru/uploads/user_files/files/str_2030.pdf

ДПО в зависимости от требований рынка труда. Поэтому так важно, чтобы система ДПО была актуальной и востребованной, а это возможно в том случае, если происходит процесс организационно-экономических преобразований системы ДПО в зависимости от запросов потребителей. Однако, несмотря на высокую степень разработанности вопроса, отсутствуют исследования по созданию алгоритма инновационного развития системы ДПО на основе ключевых мотивов потребителя, запросов рынка труда, динамики развития строительной отрасли.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основные методы исследования — системный подход, на основе которого система ДПО представляет собой систему взаимосвязанных и взаимодействующих элементов; общетеоретические методы познания (анализ, синтез, аналогия, обобщение, сопоставление, сравнение и др.), а также моделирование, позволяющее создать условную модель для исследования процесса, ситуации и т.д.

Проведение нескольких уровней анализа, находящихся в объективной причинно-следственной связи, формирует методический подход, базирующийся на структурно-логической схеме и включающий отдельные этапы (определение цели и задач решаемой предметной области, методы исследования и алгоритм инновационного развития системы ДПО):

- цель — создание алгоритма инновационного развития системы ДПО на основе ключевых мотивов потребителя, запросов рынка труда, динамики развития строительной отрасли;
- задачи — исследовать генезис и направления методических основ инновационного развития системы ДПО в высшем учебном заведении, разработать методический подход по обоснованию алгоритма инновационного развития системы ДПО;
- методы — анкетного опроса, анализа и синтеза, графическое моделирование, методы экспертных и сравнительных оценок;
- алгоритм — этапы создания структурированной схемы инновационного развития системы ДПО в условиях всесторонней цифровой трансформации.

Для решения заявленной проблемы проведен опрос респондентов (90 человек) в возрасте от 20 до 50 лет, доля мужчин составляла 56 %, доля женщин — 44 %. В результате опроса были выявлены одни из ключевых мотивов выбора профессии, где для 59 % респондентов в качестве мотива выступали интерес и желание работать по выбранной профессии, примерно по 12 % респондентов обосновывали выбор возможностью удовлетворить желание родственников в выборе профессии или получить востребованную профессию, позволяющую иметь высокий уровень дохода. Дополнительно определялся главный мотив осуществления деятельности в конкретной организации. Здесь в качестве приори-

тетных выступали такие, как хороший коллектив, интересная работа и возможность карьерного роста. При этом основным материальным стимулом работать более продуктивно назван мотив «повышение заработной платы». Результаты опроса подтвердили, что для человека важны не только полученные базовые знания, но постоянное их развитие и наполнение новой информацией о методах, технологиях, процессах, ресурсах и др. Таким образом, полученные результаты подтвердили необходимость создания подходов к инновационному развитию систем ДПО.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для системы ДПО с учетом современных условий функционирования и с целью решения конкретных проблем и задач целесообразно разработать дорожную карту, содержащую отдельные мероприятия, направленные на развитие ДПО. При этом в отличие от обычного плана действия дорожная карта, помимо перечня мероприятий, должна содержать информацию об ответственных исполнителях за проведение мероприятий, сроках исполнения, ресурсном обеспечении мероприятий и контрольных показателях, необходимых для оценки полученных результатов.

Применительно к системе ДПО концептуальная схема процесса инновационного развития системы ДПО приведена на рис. 1.

Развитие системы ДПО с учетом специфики реализации в вузах, требований к профессиональному уровню руководителей и специалистов, динамического развития строительной отрасли должно быть направлено на преобразование ДПО в отдельное направление деятельности образовательного учреждения. Для правильного выбора вектора развития системы ДПО необходимо провести анализ внешней и внутренней среды, текущего состояния системы ДПО. Комплексная диагностика системы ДПО с целью оптимального и стратегически правильного выбора направления ее инновационного развития включает: анализ форм реализации программ ДПО с учетом специфики обучения взрослых; анализ программ ДПО на соответствие требованиям профессиональных стандартов, направления развития строительной отрасли; оценку результатов обучения по программам ДПО; оценку деятельности профессорско-преподавательского состава, участвующего в реализации программ ДПО; уровень обеспечения ДПО (технический, технологический, методический и др.).

Для целей данной научной работы под инновационным развитием системы ДПО авторы понимают процесс или комплекс мер, направленный на улучшение деятельности системы в зависимости от требований внешней среды (запрос рынка труда, мотивы осуществления трудовой деятельности потенциальными клиентами системы ДПО), потребностей строительной отрасли, степени желания ру-

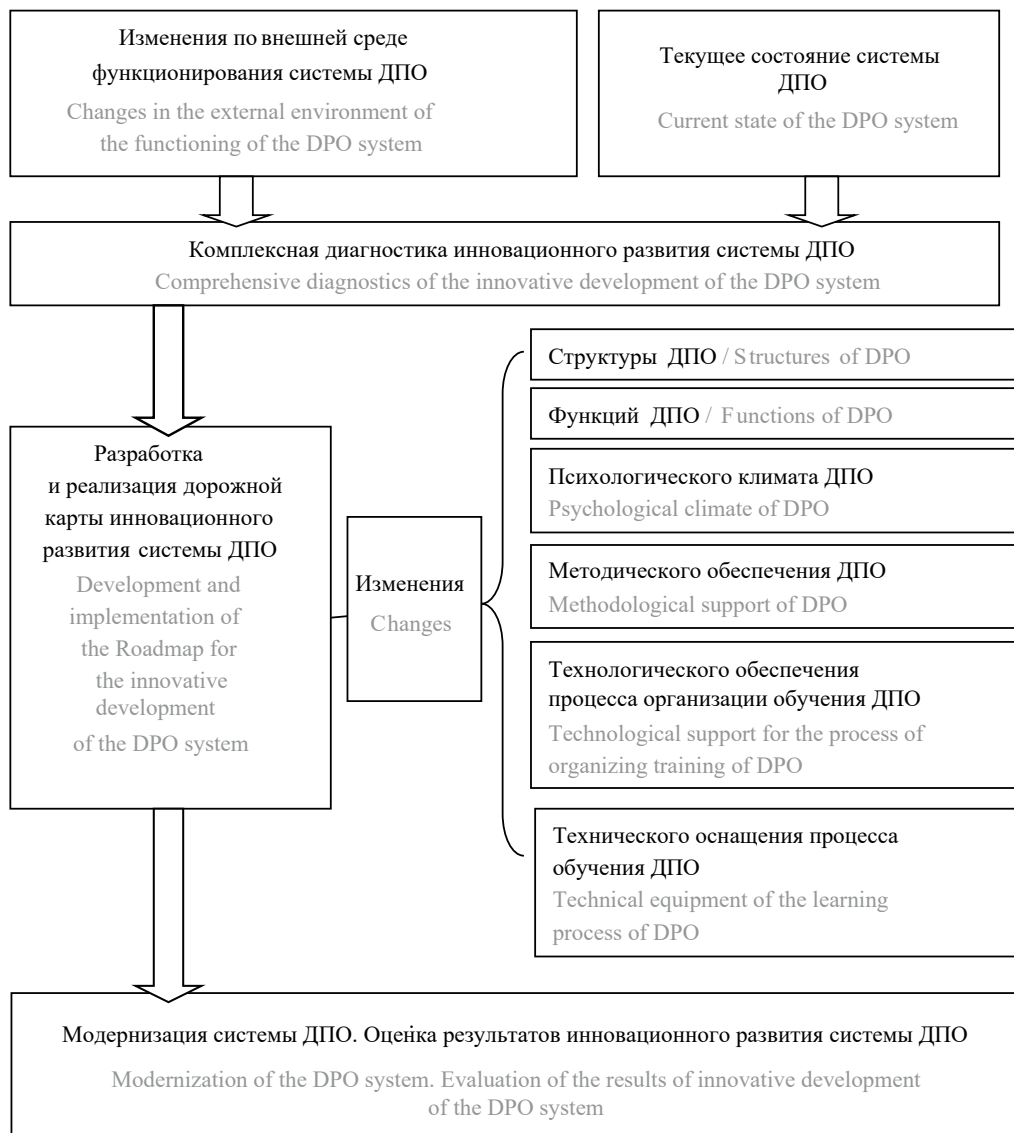


Рис. 1. Концептуальная схема процесса инновационного развития системы ДПО

Fig. 1. Conceptual scheme of the process of innovative development of the DPO system

ководителей и специалистов строительной отрасли к профессиональному росту посредством получения новых компетенций.

Исходя из требований внешней и внутренней среды формируются основные цели, направления развития и группы показателей, используемые для оценки полученных результатов. В таблице приведен перечень мероприятий и последовательность их реализации для использования при разработке проекта дорожной карты.

Система ДПО в строительной сфере в первую очередь ориентирована на непрерывное обучение в течение всей жизни человека и призвана обеспечить поддержку компетентностного развития личности, поскольку специалист строительной отрасли в современных условиях должен уметь находить нужную информацию и принимать решения посредством использования той базы знаний и прак-

тического опыта, которыми обладает. А поскольку создание устойчивого экономического развития и повышения конкурентоспособности предприятия в современных условиях является необходимым для функционирования предприятия, то система ДПО должна способствовать профессиональному развитию специалистов строительной отрасли посредством создания гибких форм ДПО.

Немаловажную роль в инновационном развитии системы ДПО играют организационно-педагогическое направление, содержащее информацию о структурировании ОП ДПО (деление программ на автономные модули, блоки и др.); области применения программ (разработка программ с ориентацией под конкретного заказчика, с учетом отраслевых особенностей и др.); использование интерактивных образовательных технологий (кейс-методы, интерактивные модели-симуляторы и др.). Следует от-

План мероприятий по инновационному развитию системы ДПО

Action plan for the innovative development of the DPO system

Направления развития Development directions	Перечень мероприятий List of events
<p>Ресурсное обеспечение системы ДПО Resource support of the DPO system</p>	<p>Совершенствование профессиональной подготовки педагогических кадров с учетом требований нормативно-правовых актов и технологий обучения взрослых — специалистов строительной отрасли Improving the professional training of teaching staff, taking into account the requirements of regulatory legal acts and technologies for teaching adults — specialists in the construction industry</p> <p>Выбор образовательных технологий и способов их реализации для системы ДПО The choice of educational technologies and ways of their implementation for the DPO system</p> <p>Создание/совершенствование телекоммуникационных ресурсов для эффективного обучения взрослых — специалистов строительной отрасли Creation/improvement of telecommunication resources for effective training of adults — specialists in the construction industry</p> <p>Создание/совершенствование учебных и методических ресурсов, направленных на обучение взрослых — специалистов строительной отрасли в соответствии с потребностями рынка Creation/improvement of educational and methodological resources aimed at training adults — specialists in the construction industry in accordance with market needs</p> <p>Создание/совершенствование команды специалистов (администраторов, методистов и др.) для организации и управления процессом обучения взрослых Creation/improvement of a team of specialists (administrators, methodologists, etc.) to organize and manage the process of adult education</p>
<p>Оценка качества обучения специалистов строительной отрасли в системе ДПО Evaluation of the quality of training for construction industry specialists in the DPO system</p>	<p>Создание/совершенствование системы оценки качества и реализации используемых программ в системе ДПО Creation/improvement of the system for assessing the quality and implementation of the programs used in the DPO system</p> <p>Создание/развитие системы маркетинга образовательных услуг, предоставляемых системой ДПО Creation/development of a marketing system for educational services provided by the DPO system</p> <p>Мониторинг образовательных потребностей территориальных единиц (город, район, регион и др.), анализ результатов, разработка и реализация комплекса мер, направленных на повышение привлекательности процесса обучения специалистов Monitoring the educational needs of territorial units (city, district, region, etc.), analysis of the results, development and implementation of a set of measures aimed at increasing the attractiveness of the process of training specialists</p>
<p>Информационное сопровождение деятельности системы ДПО Information support of the activities of the DPO system</p>	<p>Организация мероприятий, проводимых с определенной периодичностью, с целью информированности потенциальных слушателей системы ДПО — специалистов строительной отрасли о плановой реализации программ, используемых образовательных технологиях, учебно-методического обеспечения и др. Organization of events held at regular intervals in order to inform potential students of the DPO system — specialists in the construction industry about the planned implementation of programs, educational technologies used, educational and methodological support, etc.</p> <p>Создание модели взаимодействия органов исполнительной власти, образовательных организаций и организаций строительного комплекса Creation of a model of interaction between executive authorities, educational organizations and organizations of the construction complex</p> <p>Создание контента для освещения деятельности образовательной организации по обучению специалистов строительной отрасли Creation of content to cover the activities of an educational organization for the training of specialists in the construction industry</p>

Направления развития Development directions	Перечень мероприятий List of events
Развитие клиентской базы системы ДПО Development of the client base of the DPO system	Создание и ведение электронной базы данных, содержащей информацию о контенте программ, стоимости обучения, сроках реализации программ, формах обучения и др. Creation and maintenance of an electronic database containing information on the content of programs, the cost of education, the timing of the implementation of programs, forms of education, etc.
	Создание системы профессионального консультационного обслуживания специалистов строительной отрасли, прошедших обучение Creation of a system of professional consulting services for trained construction industry specialists

метить, что формирование ОП с использованием модулей в системе ДПО создает возможность более глубокой проработки отдельных вопросов, что позволяет приблизить процесс обучения к реальным условиям деятельности обучающихся. При этом модули целесообразно разрабатывать в зависимости от уровня погружения в проблему, например, на уровне общего введения в проблему, среднего уровня изучения проблемных вопросов, позволяющего принимать решения с использованием типовых методов или углубленного изучения проблемных вопросов, на основе которого формируется специальный подход к принятию решения на основе собственного выбора и обоснования действий [19].

В настоящее время в вузах широко используются различные формы обучения в режиме реального времени и с непосредственным участием слушателей, а именно лекции, вебинары, конференции и др., организованные с помощью web-технологий. Инновационное развитие системы ДПО должно быть выстроено таким образом, чтобы обеспечивать гибкость процесса обучения, которая позволяет специалистам строительной отрасли выбирать форму и сроки обучения, возможность временного прекращения и возобновления обучения, что немаловажно в связи с достаточной загрузкой специалистов в повседневной практической деятельности. Согласно Концепции² инновационность программ ДПО, разрабатываемых для строительной сферы, проявляется в широком использовании современных образовательных технологий и опережающем характере содержания обучения, что позволяет формировать инновационно-ориентированную личность в соответствии с реальными потребностями рынка.

Для системы ДПО актуален вопрос интеграции «трех китов» — образования, науки и производства,

именно такое взаимодействие обеспечит качество обучения специалистов строительной отрасли, повысит их конкурентоспособность и привлекательность. Исходя из этого целесообразно формировать требования к составу и содержанию учебно-методических материалов в зависимости от направления и программы обучения совместно с организациями строительной отрасли, выступающими в роли заказчика и одновременно потребителя образовательных услуг. В состав учебно-методических материалов следует включать, помимо программно-методических материалов, учебных пособий, кейсов, материалов для самоконтроля и других, научные монографии и рабочие тетради к ним, реферативные обзоры по отдельным проблемным вопросам, обзоры исследовательских проблем [20].

Для контроля полученных знаний в системе ДПО повсеместно проводится тестирование учащихся, которое дает возможность сопоставить полученные результаты с требованиями, заявленными в программах ПК или ПП. Тест — это, как правило, вопрос и три-пять вариантов ответа. Тесты имеют преимущества в виде объективности контроля, поскольку на результат не влияет, например, личность преподавателя или взаимоотношения обучающегося с преподавателем. Затраты времени на выполнение тестирования и проверку тестов минимальны, особенно при применении компьютерных программ для организации тестового контроля знаний. Однако результаты решения тестовых заданий могут дать представление о степени овладения материалом, но не раскрывают понимания того, как обучающийся будет действовать на практике, решая производственные задачи с использованием полученных знаний. Для решения данного вопроса в качестве инновационной составляющей необходимо проверку знаний после окончания обучения проводить в два этапа [21]. На первом этапе использовать тестовые материалы, а на втором этапе для проверки готовности обучающегося к профессиональной деятельности можно применять имитационную модель, созданную на основе реальной деятель-

² Концепция развития системы дополнительного профессионального образования в строительной отрасли : утв. Комитетом по профессиональному образованию Ассоциации «Национальное объединение строителей» протоколом от 25.02.2016 № 39. URL: https://nostroy.ru/news_files/2016/03/02/Konz_DPO_25.02.2016.pdf

ности в определенной профессиональной сфере. В качестве имитационной модели может выступать программа-симулятор в виде игры, которая позволяет в виртуальных условиях определить последовательность принятия правильных решений для получения желаемого результата. Следует отметить, что это не только интересная и увлекательная форма обучения, но и некий индикатор того, как действия отдельного специалиста или группы специалистов могут повлиять на результаты деятельности предприятия, выполнения технологических операций, реализации производственных программ и др.

В качестве составляющей инновационного развития системы ДПО предлагается создание программного продукта — электронной базы данных, содержащей не только информацию о программах ПК и ПП специалистов строительной отрасли, но и информацию о специалистах строительной отрасли, прошедших обучение, а также профессорско-преподавательском составе, уже участвующем или выступающем в качестве потенциального участника образовательного процесса [22].

Предлагаемая база данных должна быть открытой и актуальной, пополняемой в режиме реального времени информацией о тех, кто проходит обучение в настоящее время и кто планирует обучаться, сроках и стоимости обучения, программах обучения и т.д. Создание инструмента в виде электронной базы данных позволит организаторам процесса обучения планировать сроки проведения обучения, наполнять программы модулями в соответствии

с поступающими запросами, формировать группы обучающихся, а также анализировать полученные результаты работы для последующей оценки деятельности ДПО.

Особое место в инновационном развитии системы ДПО занимает организационно-экономическое направление.

На состояние системы ДПО за период времени влияют внешняя среда в виде информационного и ресурсного потоков, которые накладывают ограничения на систему ДПО; и внутренняя среда — формат взаимодействия и содержательная составляющая системы ДПО: это интеллектуальная, организационная, социально-психологическая и технико-экономическая среда.

Система ДПО относится к типу открытых и сложных систем. Экономическая устойчивость ДПО, как системы, в проведенных исследованиях определяется состоянием всех его ресурсов, при которых оно способно сохранить свое качество в условиях динамичной среды и внутренних трансформаций.

Поэтому система ДПО представляет собой совокупность подсистем и состоит из обеспечивающей, научной, управляющей и управляемой многоуровневых составляющих.

Последовательность процесса инновационного развития ДПО как иерархически сложной, большой системы изображена на рис. 2.

Не отрицая значительный вклад исследователей в определение содержания и сущности процесса раз-

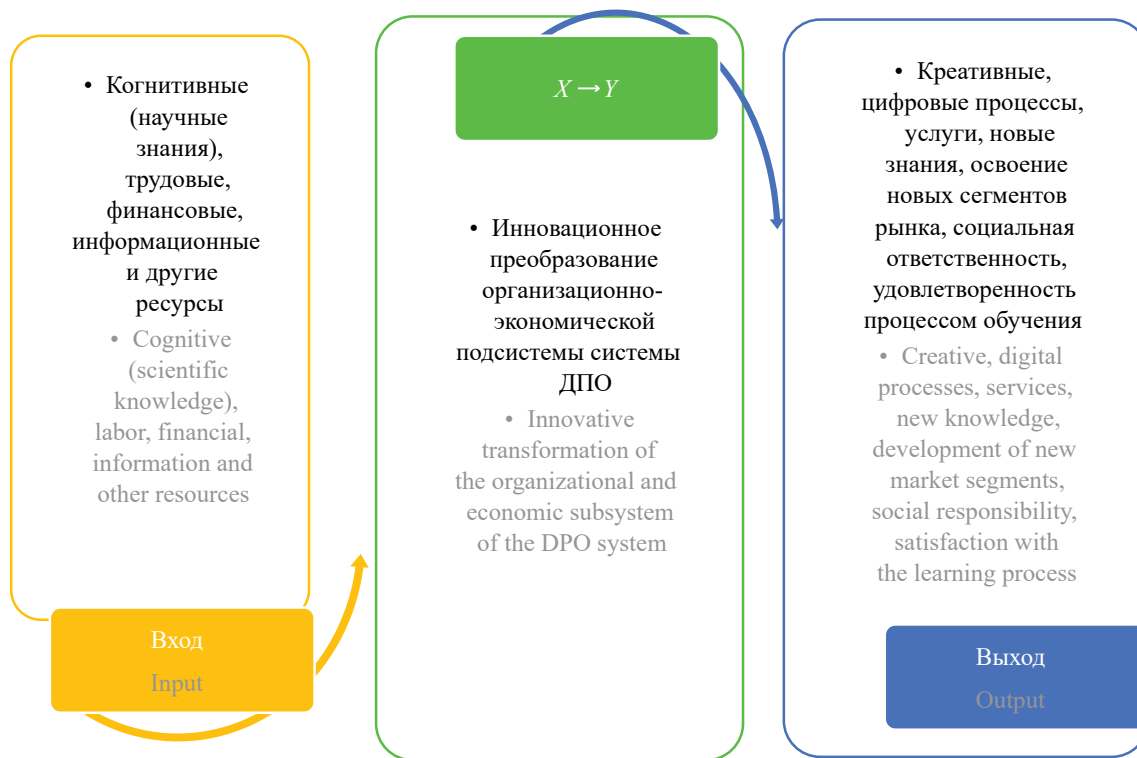


Рис. 2. Основные параметры инновационного преобразования организационно-экономической подсистемы системы ДПО
Fig. 2. The main parameters of the innovative transformation of the organizational and economic subsystem of the DPO system

вития (преобразования), как экономической категории, нами дополнены существующие подходы к данному определению, на основе которых учтены особенности и специфика деятельности системы ДПО.

Под инновационным развитием системы ДПО мы будем понимать комплекс организационных, финансовых, управленческих (административных), правовых и социальных решений, индуцированных потребностями рынка труда, направленных на повышение эффективности деятельности ДПО и предназначенных для непосредственной реализации в учебной, научной и социальной сферах. При этом основываясь на следующих положениях деятельности:

- личностная ориентация образовательного процесса, основанная на изучении потребностей слушателей;
- запросы отрасли и рынка труда;
- цифровизация основных и вспомогательных процессов системы ДПО;
- структурная дифференциация, создающая представление о профессиональной деятельности системы ДПО ведущего строительного вуза страны;
- уровневая дифференциация — организация ДПО в соответствии с социальными особенностями слушателей, уровнем их подготовленности к обуче-

нию (принимая по внимания потребности слушателя на всем его жизненном цикле).

При оценке конкурентоспособности и эффективности деятельности системы ДПО целесообразно применять показатели мониторинга Минобрнауки РФ в виду того, что проводимые мероприятия инновационного развития происходят в подведомственном Минобрнауке высшем учебном заведении.

Структура инновационного системного управления ДПО представлена в виде модели, которая является компонентом модели управления вузом (рис. 3). В отличие от модели управления университетом, мы отразили структуру ДПО с учетом того, что основным потребителем образовательных услуг является рынок труда.

В настоящий момент целенаправленное, устойчивое развитие системы ДПО возможно лишь с позиции системного и процессного подхода к реализации мероприятий по инновационному развитию системы ДПО в соответствии с определенной моделью инновационного системного управления ДПО, представленной на рис. 3.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

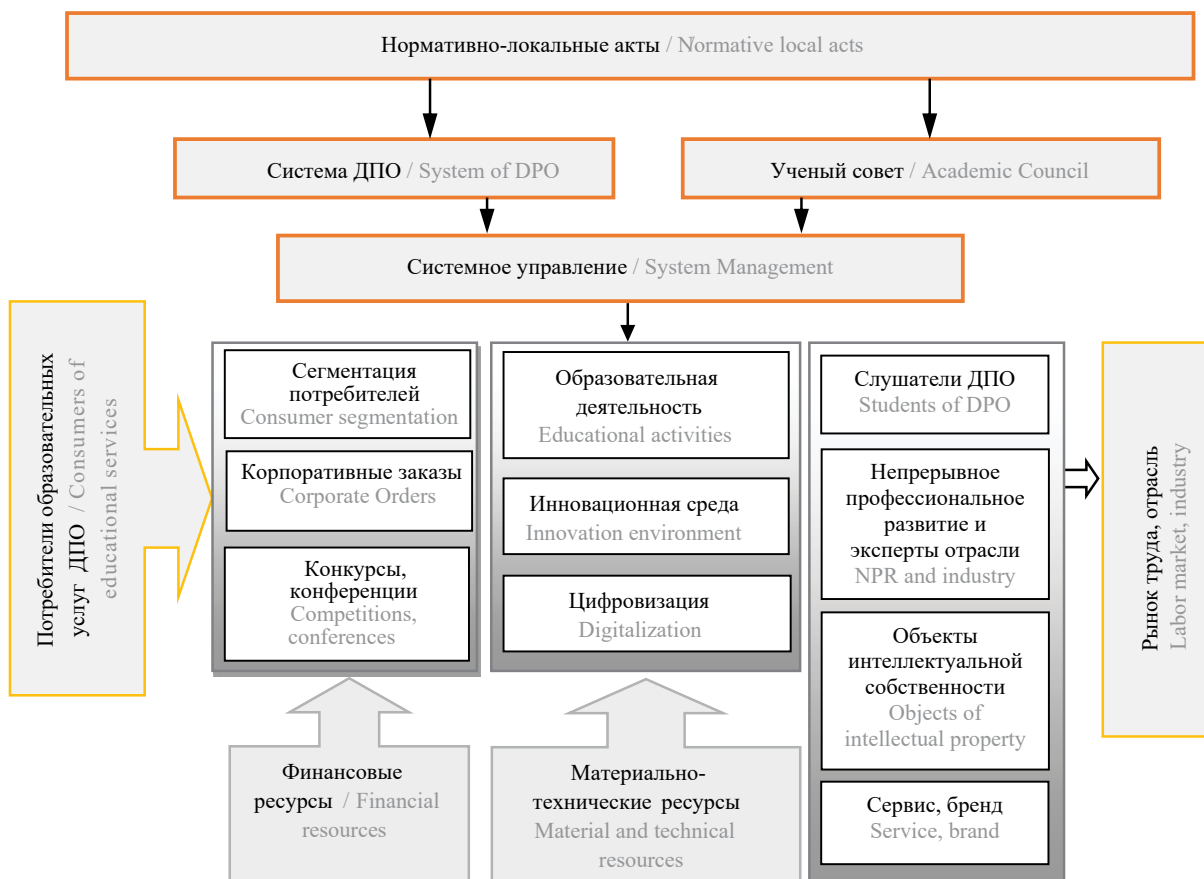


Рис. 3. Модель инновационного системного управления ДПО

Fig. 3. Model of innovative system management of DPO

На основании проведенного анализа можно охарактеризовать систему ДПО также с позиции услуг — продукта, который она реализует. Востребованность программ ПК и ПП, безусловно, диктует рынок труда, но немаловажную роль играет содержательное наполнение программ обучения, их качество, актуальность и положительная обратная связь (потенциальный слушатель не может оценить программу всесторонне до момента обучения по программе и окончания, кроме как формировать мнение, основанное на отзывах слушателей, освоивших ту или иную программу). Обеспечение всего комплекса образовательных услуг должно осуществляться таким образом, чтобы максимально удовлетворять пожеланиям и ожиданиям слушателей и работодателей — основных потребителей образовательных услуг.

Создание программ ПК и ПП для специалистов строительной отрасли с учетом андрагогического подхода требует от разработчика больших усилий в связи с тем, что слушатели системы ДПО представляют собой, как правило, разнородную группу, которой требуется индивидуальный подход при формировании объема подготовки, используемых технологий, методического обеспечения и др. С другой стороны, в системе ДПО отсутствуют штатные

преподаватели, поскольку к процессу обучения привлекаются преподаватели основных образовательных процессов по программам бакалавриата и/или магистратуры, а также руководители и специалисты строительной отрасли, обладающие определенными знаниями по отдельным профессиональным вопросам и, возможно, имеющие опыт преподавания. Таким образом, разработка программ ПК и ПП обязательно должна начинаться с исследования потенциальной аудитории слушателей, пожеланий заказчика и оценки возможностей образовательной организации.

Кроме того, следует направить усилия на искоренение сложившегося мнения о том, что система ДПО является дополнительным источником дохода основной образовательной деятельности в высших и средних образовательных организациях [23]. Целесообразно систему ДПО рассматривать как центр ответственности за развитие непрерывного образования в отдельно взятом городе, районе, регионе и др. Реализация программ в системе ДПО должна быть направлена на решение стратегических задач отрасли, а также на повышение профессионального уровня всех работников строительной отрасли в эпоху цифровизации.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Игтисамова Г.Р.* Профессиональное образование в России: историко-педагогический анализ : дис. ... д-ра пед. наук. Нижний Новгород, 2012. 55 с.
2. *Блинов Н.М., Валентинов В.В.* О необходимости совершенствования законодательной и нормативно-правовой базы, регламентирующей деятельность системы ДПО // Высшее образование в России. 2009. № 2. С. 72–78.
3. *Валентинов В.В.* Состояние системы дополнительного образования в Российской Федерации // Ползуновский альманах. 2005. № 4. С. 4–11.
4. *Евенко Л.И.* Совершенствование бизнес-образования под влиянием потребностей бизнеса и предпринимательства // Креативная экономика. 2012. № 9 (69). С. 78–83.
5. *Евенко Л.И.* Трансформация организационных структур и методов их проектирования // Креативная экономика. 2012. № 10 (70). С. 126–135.
6. *Davydova N.N. et al.* Educational research networks principles of organization // International Journal of Engineering and Technology (UAE). 2018. Vol. 7. Issue 2. Pp. 24–29. DOI: 10.14419/ijet.v7i2.13.11573.
7. *Егоршин А.П.* Перспективы развития образования России в XXI в. // Университетское управление: практика и анализ. 2000. № 4. С. 50–64.
8. *Перминова О.* Трансформации государственного вуза: современные тенденции // Высшее образование в России. 2007. № 10. С. 10–16.
9. *Максимова Е.А.* Инновационная организация системы профессионального образования: образовательные объединения. Саратов : Саратовский социально-экономический институт — филиал Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова, 2018. 148 с.
10. *Зеер Э.Ф., Дорожкин Е.М.* Основные тенденции обновления профессионального образования в постиндустриальном обществе // Транспрофессионализм как предиктор социально-профессиональной мобильности молодежи : мат. Всерос. (с междунар. участием) науч.-практ. конф. Екатеринбург, 2019. С. 167–171.
11. *Вершовский С.Г.* Система образования взрослых как объект прогнозирования // Человек и образование. 2006. № 8–9. С. 54–59.
12. *Дорожкин Е.М.* Дополнительное профессиональное образование специалистов на основе социально-педагогической многомерности: проектирование и реализация // Лесное хозяйство. 2006. № 4. С. 16–18.
13. *Дорожкин Е.М., Дусь Т.Э.* Пути развития системы непрерывного профессионального обра-

зования // Педагогический журнал Башкортостана. 2013. № 3–4 (46–47). С. 45–50.

14. Дорозжин Е.М., Ткачева О.Н. Система дополнительного профессионального образования — институт профессионального становления личности // Педагогический журнал Башкортостана. 2009. № 5 (24). С. 115–126.

15. Vrabec N., Bôtošová L. The concept of learning-by-doing in the context of media education and school quality assessment // *Communication Today*. 2020. Vol. 11. Issue 1. Pp. 140–148.

16. Gálik S., Oprala B. Temporal changes under the influence of digital media // *Communication Today*. 2021. Vol. 12. Pp. 4–12.

17. Lomteva E., Vorobyeva N., Demidov A. Media center as a resource for the development of general competencies of college students // *Media Education*. 2022. Issue 2. Pp. 266–276.

18. Дмитриева Е.Е. Педагогическая поддержка профессионального выбора в условиях личностно-ориентированной цифровой образовательной среды // *Искусство и образование*. 2019. № 5 (121). С. 215–221.

19. Никитин В.Я., Дракина И.К. Организационно-педагогические условия развития современной системы ДПО // *Мир науки, культуры, образования*. 2014. № 2 (45). С. 38–40.

20. Белогуров А.Ю. Модернизация процесса подготовки педагога в контексте инновационного развития общества : монография. М. : МАКС Пресс, 2016. 116 с.

21. Каракозова И.В. Система проверки знаний — важный рычаг повышения квалификации специалистов отрасли // *Строительная газета*. 2013. № 30 (10249). С. 8.

22. Ильвес А.М. Организационные инновации в системе образования взрослых (на примере центра музыкального и художественного развития «Romantic Sound») // *Образование взрослых в условиях современности: проблемы и перспективы* : сб. науч. ст. Екатеринбург, 2016. С. 149–153

23. Аниськина Н.Н. Проблемы развития и нормативной поддержки дополнительного профессионального образования в Российской Федерации // *Дополнительное профессиональное образование в стране и мире*. 2019. № 2 (44). С. 1–6.

Поступила в редакцию 15 августа 2022 г.

Принята в доработанном виде 17 августа 2022 г.

Одобрена для публикации 17 августа 2022 г.

О Б А В Т О Р А Х : Ирина Викторовна Каракозова — кандидат технических наук, доцент, заместитель начальника управления разработки и актуализации нормативно-методической документации; **Научно-исследовательский аналитический центр (НИАЦ)**; 125047, г. Москва, ул. 1-я Брестская, д. 27; доцент кафедры менеджмента и инноваций; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 655795, Scopus: 57190864252, ResearcherID: AAD-4118-2022, ORCID: 0000-0002-7913-919X; i.kar@inbox.ru;

Юлия Сергеевна Прохорова — кандидат экономических наук, старший преподаватель кафедры менеджмента и инноваций; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 818105, Scopus: 57191269642, ResearcherID: ABI-2855-2020, ORCID: 0000-0001-5542-1716; eshly.06@mail.ru.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Igtisamova G.R. *Vocational Education in Russia: Historical and Pedagogical Analysis : abstract dis. ... doctor of pedagogical sciences*. Nizhny Novgorod, 2012; 55. (rus.).

2. Blinov N.M., Valentinov V.V. On the need to improve the legislative and regulatory framework governing the activities of the PCE system. *Higher Education in Russia*. 2009; 2:72-78. (rus.).

3. Valentinov V.V. The state of the system of continuing education in the Russian Federation. *Polzunovskiy Almanac*. 2005; 4:4-11. (rus.).

4. Evenko L.I. Improvement of business education under influence of business and entrepreneurship

customers. *Creative Economy*. 2012; 9(69):78-83. (rus.).

5. Evenko L.I. Transformation of organizational structures and methods of their designing. *Creative Economy*. 2012; 10(70):126-135. (rus.).

6. Davydova N.N. et al. Educational research networks principles of organization. *International Journal of Engineering and Technology (UAE)*. 2018; 7(2):24-29. DOI: 10.14419/ijet.v7i2.13.11573

7. Egorshin A.P. Prospects for the development of education in Russia in the XXI century. *University Management: Practice and Analysis*. 2000; 4:50-64. (rus.).

8. Perminova O. Transformations of the state university: current trends. *Higher Education in Russia*. 2007; 10:10-16. (rus.).
9. Maksimova E.A. *Innovative organization of the vocational education system: educational associations*. Saratov, Saratov Socio-Economic Institute — branch of the Russian University of Economics. G.V. Plekhanov, 2018; 148. (rus.).
10. Zeer E.F., Dorozhkin E.M. The main trends in updating of vocational education in a postindustrial society. *Transprofessionalism as a predictor of socio-professional mobility of youth : proceedings of the Russian (with international participation) scientific and practical conference*. Ekaterinburg, 2019; 167-171. (rus.).
11. Vershlovsky S.G. The adult education system as an object of forecasting. *Man and Education*. 2006; 8-9:54-59. (rus.).
12. Dorozhkin E.M. Professional continuing education of specialists on the basis of socio-pedagogical multidimensionality: design and implementation. *Forestry*. 2006; 4:16-18. (rus.).
13. Dorogkin E.M., Dus T.E. Ways of development system of continuing professional education. *Pedagogical journal of Bashkortostan*. 2013; 3-4(46-47):45-50. (rus.).
14. Dorozhkin E.M., Tkacheva O.N. The system of professional continuing education — the institution of professional personality development. *Pedagogical journal of Bashkortostan*. 2009; 5(24):115-126. (rus.).
15. Vrabec N., Bôtošová L. The concept of learning-by-doing in the context of media education and school quality assessment. *Communication Today*. 2020; 11(1):140-148.
16. Gálik S., Oprala B. Temporal changes under the influence of digital media. *Communication Today*. 2021; 12:4-12.
17. Lomteva E., Vorobyeva N., Demidov A. Media center as a resource for the development of general competencies of college students. *Media Education*. 2022; 2:266-276.
18. Dmitrieva E.E. Particularities of the pedagogical support of the professional choice in the conditions of the student-centered digital educational environment. *Art and Education*. 2019; 5(121):215-221. (rus.).
19. Nikitin V.Ya., Drakina I.K. The organizational and pedagogical conditions of development of a modern system of additional professional training. *World of Science, Culture and Education*. 2014; 2(45):38-40. (rus.).
20. Belogurov A.Yu. *Modernizing teacher training in the context of innovative society development : monograph*. Moscow, MAKS Press, 2016; 116. (rus.).
21. Karakozova I.V. The knowledge testing system is an important tool for improving the skills of industry specialists. *Construction Newspaper*. 2013; 30(10249):8. (rus.).
22. Ilves A. Organizational innovation system of adult education centre on the example of music and art of “Romantic Sound”. *Adult education in modern conditions: problems and prospects : collection of scientific articles*. Ekaterinburg, 2016; 149-153. (rus.).
23. Aniskina N.N. Problems of development and regulatory support of professional continuing education in the Russian Federation. *Additional Professional Education in the Country and the World*. 2019; 2(44):1-6. (rus.).

Received August 15, 2022.

Adopted in revised form on August 17, 2022.

Approved for publication on August 17, 2022.

B I O N O T E S : **Irina V. Karakozova** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Deputy Head of the Department for Development and Updating of Regulatory and Methodological Documentation; **Scientific Research Think Tank**; 27 1st Brestskaya st., Moscow, 125047, Russian Federation; 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 RISC: 655795, 57190864252, ResearcherID: AAD-4118-2022, ORCID: 0000-0002-7913-919X; i.kar@inbox.ru;

Yulia S. Prokhorova — Candidate of Economic Sciences, Senior Lecturer of the Department of Management and Innovations; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 818105, Scopus: 57191269642, ResearcherID: ABI-2855-2020, ORCID: 0000-0001-5542-1716; eshly.06@mail.ru.

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

The authors declare no conflict of interest.

Анализ инновационных механизмов решения жилищных проблем в Российской Федерации

Елена Владимировна Савоскина¹, Наталья Анатольевна Солопова¹,
Екатерина Петровна Акри², Светлана Валентиновна Домнина³

¹ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия;

² Самарский государственный технический университет (СамГТУ); г. Самара, Россия;

³ Самарский государственный экономический университет (СГЭУ); г. Самара, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Исследование проблем семей, желающих улучшить свои жилищные условия, выявило повышение уровня потребности населения, где особую значимость приобретают инновационные механизмы, реализуемые на основе программ переселения жителей из ветхого и аварийного жилья. Сложные социально-экономические процессы последних трех лет обостряют эти проблемы.

Материалы и методы. Используются открытые статистические сведения стоимости жилья и показатели инвестиционных индексов, данные динамики доступности жилья в городах и городских агломерациях. Обработка информации осуществлялась с помощью структурного, сравнительного и статистического анализа. Материалом для исследования послужили работы отечественных и зарубежных авторов, описывающих опыт внедрения инновационных механизмов решения жилищных проблем. Анализ факторов, влияющих на эффективность реализации базовых элементов инновационного механизма решения жилищных проблем РФ, выполнялся по алгоритму проведения корреляционно-регрессионного анализа с применением инструментария MS Excel.

Результаты. Представлены результаты исследования стоимости жилья и показателей инвестиционных индексов по состоянию на 2021 г. Осуществлен анализ коэффициента доступности жилья. Исследование позволило оценить изменения, происходящие в динамике доступности жилья в городах и городских агломерациях, выделить состав основных элементов инновационного механизма решения жилищных проблем в РФ. Структурированы элементы механизма решения жилищной проблемы через систему государственного регулирования, механизм внешнего регулирования, систему рычагов воздействия и инновационных инструментов. Выявлены ключевые факторы, влияющие на результирующий показатель, — доля семей, имеющих возможность приобрести жилье.

Выводы. Приведены результаты проверки достоверности представленных корреляционно-регрессионных моделей по критерию Фишера, которые дали возможность выделить первоочередные и второстепенные задачи, позволяющие минимизировать угрозы замедления отдачи от инновационных механизмов, реализуемых в жилищной политике. Обозначены инновационные составляющие решения жилищных проблем и наиболее перспективные направления их решения в текущем периоде развития экономики.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: инновационный механизм, жилищная проблема, факторы, корреляционно-регрессионный анализ, жилищная политика

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Савоскина Е.В., Солопова Н.А., Акри Е.П., Домнина С.В. Анализ инновационных механизмов решения жилищных проблем в Российской Федерации // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 8. С. 1096–1112. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.8.1096-1112

Автор, ответственный за переписку: Елена Владимировна Савоскина, savoskina@mail.ru.

Analysis of innovative mechanisms for solving housing problems in the Russian Federation

Elena V. Savoskina¹, Natalia A. Solopova¹,
Ekaterina P. Akri², Svetlana V. Domnina³

¹ Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation;

² Samara State Technical University (SamSTU); Samara, Russian Federation;

³ Samara State Economic University (SSEU); Samara, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The study of the problems of families wishing to improve their housing conditions has revealed an increase in the level of need of the population, where innovative mechanisms implemented on the basis of programs for the resettlement of residents from dilapidated and emergency housing are of particular importance. Complex socio-economic processes of the last three years only aggravate these problems.

Materials and methods. We used open statistical data on the cost of housing and investment indices, data on the dynamics of housing affordability in cities and urban agglomerations. Data processing was carried out using structural, comparative and statistical analysis. The material for the study were the works of domestic and foreign authors, describing the experience of implementing innovative mechanisms to solve housing problems. The analysis of factors affecting the effectiveness of implementation of the basic elements of the innovative mechanism to solve housing problems in the Russian Federation was carried out according to the algorithm of correlation and regression analysis using MS Excel tools.

Results. The paper presents the results of the study of the values of housing costs and indicators of investment indices as of 2021. The study made it possible to assess the changes taking place in the dynamics of housing affordability in cities and urban agglomerations, to identify the composition of the main elements of the innovative mechanism for solving housing problems in Russia. Structured the elements of the mechanism for solving the housing problem through a system of state regulation, the mechanism of external regulation, the system of leverage, and innovative tools. The key factors affecting the resulting indicator — the proportion of families who have the opportunity to buy housing were identified.

Conclusions. The paper presents the results of the study of the values of housing costs and indicators of investment indices as of 2021. The study made it possible to assess the changes taking place in the dynamics of housing affordability in cities and urban agglomerations, to identify the composition of the main elements of the innovative mechanism for solving housing problems in Russia. Structured the elements of the mechanism for solving the housing problem through a system of state regulation, the mechanism of external regulation, the system of leverage, and innovative tools. The key factors affecting the resulting indicator — the proportion of families who have the opportunity to buy housing were identified.

KEYWORDS: innovation mechanism, housing problem, factors, correlation and regression analysis, housing policy

FOR CITATION: Savoskina E.V., Solopova N.A., Akri E.P., Domnina S.V. Analysis of innovative mechanisms for solving housing problems in the Russian Federation. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2022; 17(8):1096-1112. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.8.1096-1112 (rus.).

Corresponding author: Elena V. Savoskina, savoskina@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Непростые условия эксплуатации жилого фонда в постперестроечный период, отсутствие капитального и текущего ремонта жилых помещений, низкое качество их содержания привели к тому, что к середине 2000-х годов произошла стагнация структуры жилищного фонда в России. С другой стороны, реализация политики по улучшению демографической ситуации в РФ сформировала предпосылки для роста спроса на жилье со стороны молодых семей. Проведенный в 2022 г. социологический опрос российских семей показал, что из 61,7 млн семей испытывают потребность в улучшении жилищных условий 22,7 млн семей, из которых только 50 % семей имеют платежеспособный спрос (11,6 млн семей). Ипотечными программами планируют воспользоваться 9,4 млн семей¹. Динамика роста продаж в жилищном секторе демонстрирует, что 17,6 млн семей улучшили жилищные условия за счет активного строительства (построено 5,3 млн квартир) с использованием ипотеки (выдано 7,2 млн кредитов). Однако в этом же периоде 13,1 млн семей сформировали новую потребность в улучшении жилищных условий (примерно 4 % семей ежегодно).

В настоящее время значительная часть населения России желает улучшить условия проживания, но не имеет возможности для покупки новой квартиры (3,9 млн молодых семей) — 55 и 43 % семей, у которых существует указанная потребность в улучшении жилищных условий, но отсутствуют необходимые финансовые сбережения. По проведенным опросам для 70 % российских семей комфортабель-

ность собственного жилья является более важным фактором, чем развитие городской среды в целом. Сбалансированность жилищной политики выстраивается на базе общегосударственной жилищной политики, только так возможно решить проблему обеспечения граждан РФ комфортным и доступным жильем [1]. С ростом уровня жизни современного общества возрастает уровень потребности в жилье: семьи хотят жить в домах, расположенных рядом с местом работы, с наличием современной инфраструктуры, в том числе объектов образования, спорта и отдыха. Квартира, как и дом в целом, должны быть красивыми и удобными, даже небольшие квартиры должны удовлетворять все потребности жителей.

Результаты социологического исследования ДОМ.РФ и ВЦИОМ об обеспеченности россиян жильем, потребностях в улучшении жилищных условий и спросе на ипотеку говорят о том, что итоговое решение о конкретном способе улучшения жилищных условий семьи принимают исходя из доступности жилья с желаемыми характеристиками в рамках имеющегося бюджета. По этой причине, например, фактически реализованный спрос на строительство индивидуальных домов оказывается в разы ниже сформированного платежеспособного спроса: в 2020 г. населением построено всего около 0,3 млн домов, а за 9 месяцев 2021 г. — 0,31 млн, что в 1,6 раз ниже сформированного спроса на строительство 0,46 млн домов ежегодно².

Фонд содействия реформированию ЖКХ опубликовал результаты контрольной деятельности своей программы развития, согласно полученным данным,

¹ Ключевые показатели жилищной сферы по состоянию на 29.07.2022 г. // Аналитический центр ДОМ.РФ. URL: https://дом.рф/upload/iblock/38a/3a0rj3lzbvliresr5xt3_m7ia2usi1zas.pdf

² Жилье и ипотека. Социологический опрос российских семей. 2022. URL: <https://www.дом.рф/upload/iblock/e03/e036c3e0a7b05a60760b1fb4b03612b9.pdf>

за период 2019–2020 гг. в 11 субъектах РФ выявлен риск нарушения срока ее реализации. В числе таких регионов: Республика Крым, Республика (Саха) Якутия; автономный округ Югра; Московская, Кемеровская, Курганская, Мурманская, Тверская, Новгородская области; Еврейская автономная область. Еще в четырех областях отмечается риск несвоевременного выполнения целевого показателя, в 10 регионах также выявлены риски неисполнения обязательств по заключению контрактов до конца 2021 г. Данные свидетельствуют о том, что многие регионы РФ не смогут своевременно обеспечить расселение из аварийных площадей, это станет поводом для приостановки предоставления финансовой поддержки фонда³.

Исследования, связанные с реализацией жилищных проблем [1–19], показывают, что в сложившейся ситуации эффективная жилищная политика государства заключается в том, чтобы предоставить возможность населению улучшить свои жилищные условия разными путями. По мнению О. Siegmunt [2], Л.Б. Леонова [3] и многих других авторов, для этого требуется разработать такие механизмы решения жилищной проблемы, которые позволят каждой семье выбрать ту форму улучшения условий жилья, которая полностью отражает требования и финансовые возможности семьи с учетом ее жизненной траектории (купить жилье в собственность или взять в аренду, купить готовое жилье или на стадии строительства). Государству следует обеспечить условия, в которых все граждане и участники рынка будут защищены, а все механизмы действий прозрачны, только в этих условиях возможно обеспечить баланс интересов каждой заинтересованной стороны [4]. В этой связи наиболее актуальным становится анализ инновационных механизмов решения жилищных проблем с выявлением факторов, за счет контроля над которыми можно влиять на эффективность жилищной политики государства, применяя особый индивидуальный подход к каждой семье, внедряя различные схемы управления [5]. Л.А. Solodilova, Т. Vavilova полагают, что процесс управления жилым фондом осложнен социальной значимостью указанной проблематики. От обеспечения граждан комфортным жильем зависит здоровье нашей страны, демографическая ситуация, количество разводов, отношение к власти и другие факторы [6]. Таким образом, уровень существующего жилищно-коммунального хозяйства и тенденция его развития являются важнейшими показателями уровня жилищного обслуживания населения и уровня управления государством.

³ Фонд содействия реформированию ЖКХ подвел итоги контрольной деятельности за 2020 год. URL: <https://fondgkh.ru/news/fond-sodeystviya-reformirovaniyu-zhkkh-podvel-itogi-kontrolnoy-deyatelnosti-za-2020-god/>

⁴ Об утверждении официальной статистической методологии мониторинга достижения целей национального проекта «Жилье и городская среда»: приказ Минстроя России от 18.04.2019 № 228/пр (ред. от 04.07.2022). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_374711/508824358803fc3402c0511547eae9e04a465bce/

⁵ Методики расчета показателей национальных проектов (программ). URL: torage/mediabank/sborn-met-NP.htm

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование механизма решения жилищных проблем выстраивалось на базе данных по стоимости жилья и показателям инвестиционных индексов девяти стран: США, Китая, Великобритании, России, Германии, Франции, Японии, Италии, Канады. Базой данных, собранной по показателям соотношения цены и дохода, ипотеки в процентах от дохода, индекса доступности кредита, соотношений цены и аренды, валовой доходности от аренды, стали материалы о стоимости жизни, представленные Numbeo. В качестве исходных материалов для анализа была использована официальная информация об инновациях в жилищной сфере в разрезе показателей, указанных на сайтах Федеральной службы государственной статистики (Росстат), Фонда «Институт экономики города», Аналитической службы компании «ФинЭкспертиза», Минстроя РФ, а также данные, опубликованные в различных докладах, аналитических обзорах и федеральных законах, и постановлениях РФ.

В качестве отобранных показателей применялись сведения по утвержденной в РФ методике оценки уровня доступности жилья начиная с 2018 г.⁴, для исследования использовалась информация динамики доступности жилья в городах и городских агломерациях (Челябинская, Самарско-Тольяттинская, Екатеринбургская, Саратовская, Ростовская, Нижегородская, Волгоградская, Пермская, Воронежская, Новосибирская, Красноярская, Уфимская, Краснодарская, Владивостокская, Казанская, Московская, Санкт-Петербургская):

- коэффициент, отражающий уровень доступности жилья (КДЖ);
- доступность приобретения жилья с учетом механизма ипотечного кредитования (ИДПЖ), рассчитанная в формате индекса;
- доля семей, имеющих возможность приобрести жилье, соответствующее стандартам обеспечения жильем помещениями, с помощью собственных и заемных средств (ДС).

Методика определения перечисленных показателей приведена на сайте Росстата и в сборнике «Методики расчета показателей национальных проектов (программ)»⁵.

Механизм решения жилищных проблем выстраивался на базе большого количества нормативно-правовых актов и паспорта нацпроекта, разработанного Минстроем России в рамках исполнения Указа Президента РФ от 07.05.2018 № 204 «О националь-

ных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года».

Анализ факторов, влияющих на эффективность реализации базовых элементов инновационного механизма решения жилищных проблем РФ, выполнялся по алгоритму проведения корреляционно-регрессионного анализа:

1) в качестве результирующего показателя выступает ДС (¥), потому что он рассчитывается на основе данных мониторинга использования жилищного фонда и обеспечения его сохранности⁶, а также упоминается в различных стратегических документах РФ^{7, 8, 9, 10};

2) для построения аналитическо-прогнозной модели динамики уровня индекса человеческого развития РФ были отобраны следующие факторы:

- общеэкономические (X_1 ; X_7 ; X_8 ; X_9);
- объема финансовых средств, выделяемых государством на решение жилищных проблем (X_2 ; X_6 ; X_{10});
- уровень жизни населения (X_4 ; X_3 ; X_5);

3) собраны данные по перечисленным выше показателям в динамике с 2018 по 2023 гг. (период с 2022–2023 гг. взят по прогнозным значениям), необходимо перейти к функциональной зависимости вида: $Y = f\{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}\}$. Далее были рассчитаны парные коэффициенты корреляции, отражающие зависимость между значением ДС (¥) и признаками $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}$ (факторы). По итогам расчетов строится матрица парных коэффициентов корреляции для анализа инновационных механизмов решения жилищных проблем РФ. Коэффициент корреляции равен 1;

4) чем больше величина в матрице парных коэффициентов корреляции, тем большее влияние проявляет факторный признак на ДС (¥). Критерий мультиколлинеарности факторов выглядит следующим образом: $|r_{ij}| \geq 0,8$. По этой причине на начальном этапе анализа был выведен из модели фактор X_8 . По модулю он показал меньшую зависимость с ДС;

5) значения R -квадрат — коэффициент детерминации по составленной в ходе исследования модели зависимости показал следующее: R -квадрат равен 0,999975736, что говорит о правильном подборе факторов, наличии тесной взаимосвязи факторов с результирующим показателем. R -квадрат равен 0,999951473, что говорит о том, что вариация динамики ДС на 99,995 % зависит от вариации всех факторов, участвующих в анализе, и на 0,005 % от вариации других факторов;

6) на основе полученной регрессии рассчитан доверительный интервал каждого фактора модели. Таким образом, можно обозначить наихудший и наилучший прогноз изменения результирующего показателя;

7) проверка значимости параметров полученной регрессионной модели и выявление наиболее значимых параметров с помощью t -критерия. Данный критерий проводится с вероятностью ошибки 5,0 %. Проверка значимости параметров модели проведена четыре раза, полученные данные представлены далее.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Жилищные проблемы — это отражение стабильности положения общества, когда трудоспособный гражданин никак не может заработать средства для приобретения и содержания достойного современного жилья [7]. I.S. Glebova, S.S. Berman, V.A. Gribovskaya уверены, что вопрос о жилье не только социальная проблема, это и фундамент для того, чтобы построить новое общество, и необходимое условие для того, чтобы создать человека нового, самодостаточного, способного обеспечить благополучие семьи и повлиять на благосостояние общества [8]. А еще состояние ЖКХ и тенденция его развития являются важнейшими показателями уровня жилищного обслуживания населения, а также уровня управления государством.

Для того чтобы оценить эффективность решения жилищной проблемы в стране, необходимо в первую очередь обратить внимание на данные по стоимости

⁶ Об утверждении перечня показателей мониторинга использования жилищного фонда и обеспечения его сохранности : приказ Министерства экономического развития Российской Федерации от 06.12.2017 № 654.

⁷ О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года : Указ Президента РФ от 21.07.2020 № 474.

⁸ Об утверждении официальной статистической методологии мониторинга достижения целей национального проекта «Жилье и городская среда» : приказ Минстроя России от 18.04.2019 № 228/пр (ред. от 04.07.2022). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_374711/508824358803fc3402c0511547eae9e04a465bce/

⁹ Об оценке эффективности деятельности высших должностных лиц (руководителей высших исполнительных органов государственной власти) субъектов Российской Федерации и деятельности органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации : Указ Президента РФ от 04.02.2021 № 68. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202102040027>

¹⁰ Об утверждении методик расчета показателей для оценки эффективности деятельности высших должностных лиц (руководителей высших исполнительных органов государственной власти) субъектов Российской Федерации и деятельности органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации, а также о признании утратившими силу отдельных положений постановления Правительства Российской Федерации от 17 июля 2019 г. № 915 : Постановление Правительства РФ от 03.04.2021 № 542.

жилья и показатели инвестиционных индексов. Многие авторы (А.Е. Шамин, А.Н. Воронков, О.М. Елфимов и др.) наиболее важным фактором называют стоимость и качество жизни в стране. Хотелось бы отметить, что на текущий момент не существует стандартной формулы для оценки жилищной проблемы. В различных странах используются показатели и индикаторы, указанные в реализуемых государственных

программах [9]. Сегодня многие базы статистических данных для российских исследователей стали недоступны. Наиболее широкое представление о показателях оценки жилищных проблем по различным странам и регионам можно найти в базе данных Numbeo, на ее крупнейшем сайте. На основании этой базы данных сформированы аналитические показатели, представленные в табл. 1.

Табл. 1. Значения стоимости жилья и показатели инвестиционных индексов в августе 2021¹¹

Table 1. Values of the cost of housing and indicators of investment indices in August 2021¹¹

Показатель Indicator	США USA	Китай China	Великобритания UK	Россия Russia	Германия Germany	Франция France	Япония Japan	Италия Italy	Канада Canada
Соотношение цены и дохода Price-to-income ratio	4,65	38,1	7,94	16,44	10,52	11,87	10,23	10,61	9,06
Ипотека в процентах от дохода, % Mortgage as a percentage of income, %	37,95	306,66	53,25	198,43	63,60	68,7	58,67	62,56	72,74
Индекс доступности кредита Loan Affordability Index	2,64	0,33	1,88	0,50	1,57	1,46	1,70	1,60	1,37
Соотношение цены и аренды — центр города Price to Rent Ratio — City Center	12,78	61,22	21,36	28,64	35,70	35,09	39,37	26,28	27,59
Соотношение цены и аренды — за пределами центра Price to Rent Ratio — Downtown	8,95	61,20	21,88	25,98	34,62	33,2	34,35	19,07	23,20
Валовая доходность от аренды (центр города), % Gross rental yield (downtown), %	7,82	1,63	4,68	3,49	2,8	2,85	2,54	3,8	3,62
Валовая доходность от аренды (за пределами центра), % Gross rental yield (outside the city center), %	11,17	1,63	4,57	3,85	2,89	3,01	2,91	5,24	4,31

¹¹ База данных о стоимости жизни Numbeo. URL: https://www.numbeo.com/property-investment/rankings_by_country.jsp?title=2021-mid&displayColumn=5

Один из важных показателей доступности покупки квартиры (жилья) — это соотношение цены и дохода. Россия по этому показателю имеет значение 16,44 года, одно из самых больших, выше только у Китая — 38 лет. Однако, если рассматривать его динамику с 2013 г., то не все так плохо. Жители США обеднели за 8 лет почти в 2 раза (2013 г. — 2,2 года; 2021 г. — 4,65), но они по-прежнему на первом месте по доступности квартиры 90 м² исходя из средней рыночной стоимости и чистого дохода семьи.

В России покупка жилья потребует лишних 4,08 года труда (2013 г. — 12,36 года; 2021 г. — 16,44). У жителей Италии повысился годовой доход и сейчас им нужно трудиться на 2,39 года меньше (2013 г. — 13 лет; 2021 г. — 10,61 года).

Ставка ипотечного кредитования в процентах от дохода граждан в России тоже очень высока, как

следствие, средняя заработная плата не покрывает ежемесячный ипотечный платеж на 98,43 %.

Как уже упоминалось ранее, в РФ существует собственная методика оценки уровня доступности жилья. Начиная с 2018 г. ведется постоянный мониторинг следующих показателей:

- коэффициент доступности жилья отражает базовую доступность жилья без условий доступности ипотечного кредитования. В 2019–2021 гг. наблюдался рост цен, достигнув максимальных значений в 2021 г. В отличие от кризисного 2020 г. в связи с пандемией коронавируса, когда реальные доходы населения сократились, в 2021 г. наблюдалось активное восстановление экономики и реальные доходы населения показали положительную динамику к 2020 г. Несмотря на это, по итогам 2020 г. КДЖ по России в целом составил 3,3, а по итогам 2021 г. — 3,6 (табл. 2);

Табл. 2. Динамика доступности жилья в городах и городских агломерациях

Table 2. Dynamics of housing affordability in cities and urban agglomerations

Агломерация ¹² Agglomeration ¹²	2018	2020	2021	Отношение 2021 к 2018 Ratio 2021 to 2018
Челябинская / Chelyabinsk	2,3	2,2	2,5	1,09
Самарско-Тольяттинская / Samara-Tolyatti	2,5	2,5	2,7	1,08
Екатеринбургская / Ekaterinburg	2,1	2,5	2,7	1,29
Саратовская / Saratov	2,4	2,4	2,9	1,21
Ростовская / Rostov	2,4	2,5	2,9	1,21
Нижегородская / Nizhny Novgorod	2,2	2,4	3,0	1,36
Волгоградская / Volgograd	2,7	2,7	3,1	1,15
Пермская / Permskaya	2,3	2,8	3,2	1,39
Воронежская / Voronezhskaya	2,1	2,4	3,1	1,48
Новосибирская / Novosibirsk	2,6	3,0	3,4	1,31
Красноярская / Krasnoyarskaya	2,8	3,3	3,5	1,25
Уфимская / Ufa	2,7	3,0	3,5	1,30
Краснодарская / Krasnodar	1,9	2,2	3,2	1,68
Владивостокская / Vladivostok	2,7	3,8	4,2	1,56
Казанская / Kazan	3,1	3,5	4,2	1,35
Московская / Moscow	4,0	4,2	1,8	0,45
Санкт-Петербургская / St. Petersburg	4,1	4,6	5,8	1,41
КДЖ ¹³ / KJS ¹³	3,2	3,3	3,6	1,13
ИДПЖ, % / BCI, %	128	140	134	1,05
ДС, % / DS, %	47,8	55,9	55,1	1,15

¹² Оценка доступности жилья в городах и городских агломерациях // Фонд «Институт экономики города». М., 2021. URL: ites/default/files/dostupnost_zhilya_17_11_2021_itog.pdf

¹³ Динамика доступности жилья в России в 2006–2021 гг. // Фонд «Институт экономики города». URL: ites/default/files/dinamika_dostupnosti_zhilya_v_rossii_v_2006-2021_gg_0.pdf

• индекс доступности приобретения жилья показывает фундаментальную доступность жилья при условии ипотечного кредита, выдаваемого на стандартных условиях. Без учета ставки по льготной ипотеке в 2020 г. ИДПЖ составлял 140 %, а в 2021 г. — 134 %. Таким образом, именно доступность жилья при приобретении квартиры в ипотеку по рыночным ставкам на первичном и вторичном рынке жилья (по данным ТОП-20 банков) показывает, что показатели доступности приобретения жилья с ипотекой в 2020 г. выросли не столь значительно, как с учетом ставки по льготной ипотеке, а в 2021 г. снизились гораздо сильнее, т.е. доступность приобретения жилья с ипотекой на рыночных условиях в 2021 г. существенно сократилась;

• доля семей, имеющих возможность приобрести жилье, соответствующее стандартам обеспечения жилыми помещениями, с помощью собственных и заемных средств. Данный показатель в 2021 г. снизился незначительно: с 55,9 % в 2020 г. до 55,1 %. Так, в 2019 г. средневзвешенная ставка по ипотеке составляла 9,87 %, но с учетом принятия новых правил возмещения организациям недополученных доходов по ипотечным кредитам и займам¹⁴ в 2020 г. она снизилась до 7,68 %.

Впервые за последние двенадцать лет в 2020 г. отмечено снижение стоимости жилья. В 2021 г. снижение стоимости жилья в крупных округах продолжалось более высокими темпами, чем за последние два года. В 2021 г. к рынкам с доступным жильем относятся только шесть, в то время как в 2018 г. этот показатель был на уровне 14 из 17 агломераций. Динамика доступности жилья в городах и городских агломерациях представлена в табл. 2.

Ключевым фактором важности инновационной жилищной политики Минстрой назвал накопленную ранее потребность населения в улучшении жилищных условий и снижение уровня процента износа жилого фонда за счет неблагоустроенного жилого фонда.

В докладе о результатах анализа использования жилищного фонда и обеспечения его сохранности в РФ за 2020 год по пп. 8.1–8.4 п. 8 перечень процента износа многоквартирных домов (МКД) распределяется следующим образом¹⁵:

• наивысшее значение, равное 826 756 МКД, относится к категории от 31 до 65 %;

• наименьшее значение, равное 67 421 МКД, — к категории свыше 70 %;

• количество МКД, физический износ основных конструктивных элементов которых составляет от 0 до 30 % — 594 268 ед., от 66 до 70 % — 142 951 ед.

К сожалению, несмотря на существующие меры по решению жилищных проблем, объем аварийного жилья в России не уменьшается. Эксперты ожидают, что в 2024–2030 гг. этот показатель вырастет до 30 м² на каждого жителя РФ. Минстрой рассчитывает, что главным инструментом выхода из сложившейся ситуации станет ипотечное кредитование. Обеспечение платежеспособного спроса будет достигнуто за счет планируемого снижения ставок с 8 до 6,9 % к 2030 г.

Еще одной ожидаемой проблемой Минстроя является расселение домов, признанных аварийными до 2017 г. Решение этой проблемы будет базироваться на основе региональных программ по переселению граждан из аварийного жилищного фонда и программе реновации старого жилого фонда. В 72,5 % российских городов не строится новое жилье. Согласно опросам ВЦИОМ, более 70 % россиян хотели бы перенести реновацию из Москвы в регионы. При этом 42 % жителей регионов назвали снос ветхого и аварийного жилья приоритетом¹⁶.

Сложность управления жилищным фондом обусловлена также наличием нескольких собственников, необходимостью тесной взаимозависимости обслуживающих организаций из различных секторов экономики, наличием системы многоуровневых финансовых потоков [10]. Именно по этим причинам процесс управления жилищными проблемами базируется на сложном механизме, выстроенном государством совместно с участниками инвестиционно-строительной сферы (инвесторы, которые являются кредиторами, заказчиками, покупателями и т.д., юридическими и гражданскими лицами, проектировщиками, изготовителями материальных, технических технологий, строительными и монтажными организациями, которые превращают инвестиционный ресурс в объекты базового капитала). Современные мировые тенденции, глобальные экономические кризисы и сложившиеся экономические особенности пандемийного периода 2020 г. заставляли все страны разрабатывать антикризисную политику, в основе которой лежат инновационные механизмы решения среднесрочных и долгосрочных проблем и вызовов времени¹⁷.

¹⁴ Об утверждении Правил возмещения кредитным и иным организациям недополученных доходов по жилищным (ипотечным) кредитам (займам), выданным гражданам Российской Федерации в 2020 году (с изм. от 24.10.2020) : Постановление Правительства Российской Федерации от 23.04.2020 № 566. URL: <http://government.ru/docs/all/127623/>

¹⁵ О результатах анализа использования жилищного фонда и обеспечения его сохранности в Российской Федерации за 2020 год : доклад Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации. URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/127452/>

¹⁶ Реновация в регионах // Аналитическая служба компании «ФинЭкспертиза». URL: https://finexpertiza.ru/upload/iblock/11e/_/__.pdf

¹⁷ Российская экономика в 2020 году. Тенденции и перспективы (Вып. 42) / под науч. ред. д-ра экон. наук А.Л. Кудрина, д-ра экон. наук В.А. Мау, д-ра экон. наук А.Д. Радыгина, д-ра экон. наук С.Г. Синельникова-Мурылева. М. : Изд-во Ин-та Гайдара, 2021. 712 с.

Инновационный механизм решения жилищных проблем представляет собой совокупность основных элементов жилищной политики в области развития строительных технологий и выполнения социальных программ, оказывающих стимулирующее воздействие на процесс формирования доступности жилья для различных слоев населения [11]. Прежде всего этот механизм решения жилищных проблем должен гарантировать работу двух взаимодополняющих составляющих: стратегической и тактической (рис.).

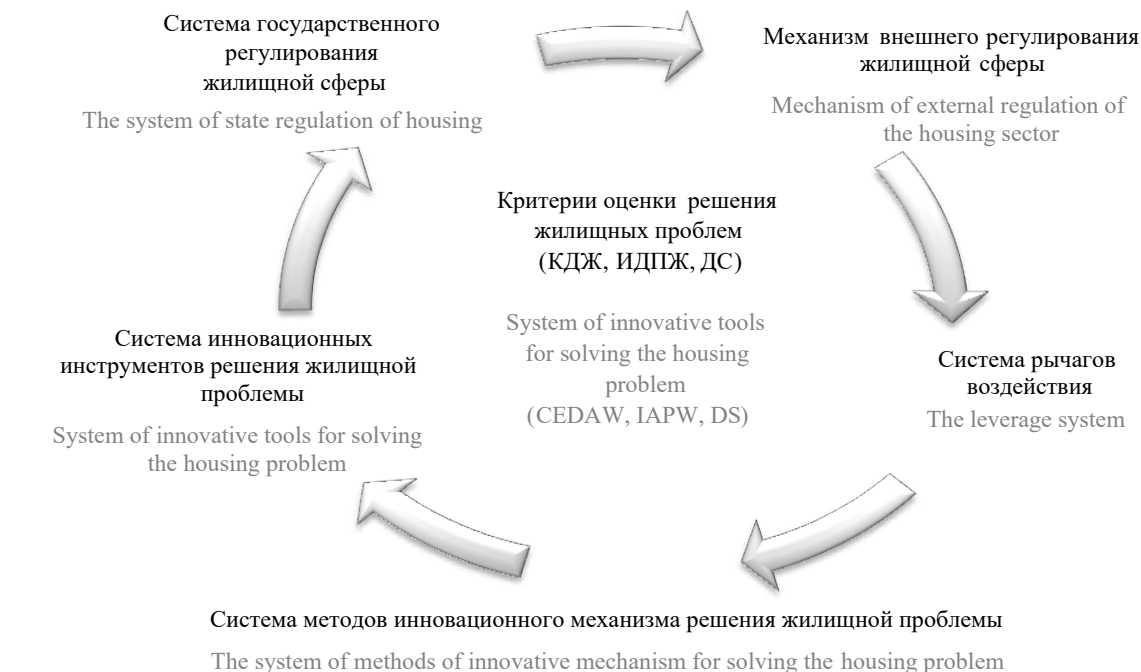
В состав базовых элементов инновационного механизма решения жилищных проблем входит.

1. Система государственного регулирования жилищной сферы.

Государственное нормативно-правовое регулирование доступности жилья. Принятие нормативно-правовых документов, регулирующих развитие жилищной сферы, представляет собой одно из направлений внутренней жилищной политики государства. Инновационность данной составляющей проявляется в большом количестве изменений, выстраивающихся на принятии новых правовых актов или внесении изменений в уже существующие [12]. Только с середины 2022 г. в силу вступило большое количество законодательных изменений, касающихся индивидуального жилищного строительства, градостроительной и разрешительной деятельности, госэкспертизы, энергоэффективности зданий и правил пользования жилыми помещениями¹⁸. Ярким примером могут служить механизмы государственно-частного партнерства в РФ, которые следует более детально проработать в отношении собственности, структуры налогообложения и регулирования взаимных претензий¹⁹.

Рыночные механизмы регулирования жилищной сферы. Этот элемент регулирует воздействие на жилищные инвестиции, рынок жилищного строительства, его структуру, состояние и тенденции развития рынка жилищной сферы деятельности строительного комплекса. Спрос и предложение на рынке жилья формируют уровень цен и востребованность отдельных финансовых инструментов, определяют доступность кредитных ресурсов и т.д. [13].

Внутренний механизм по координации государственного регулирования жилищной сферы. Проявляется во взаимодействии органов государственной власти, региональных органов власти, органов местного самоуправления и других участников инвестиционно-строительной сферы в решении жилищных проблем населения. Этот механизм имеет особое значение, так как любые институциональные структуры могут превращаться в бюрократические препоны при их неграмотной организации [14]. Необходимо достичь такой синхронизации процессов



Состав основных элементов инновационного механизма решения жилищных проблем
Composition of the main elements of the innovative mechanism for solving housing problems

¹⁸ Что изменится в регулировании строительной отрасли и ЖКХ с 1 марта? URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/press/chto-izmenitsya-v-regulirovanii-stroitelnoy-otrasli-i-zhkh-s-1-marta/>

¹⁹ Взаимодействие бизнеса и органов власти : учеб. и практикум для вузов / под ред. Е.И. Марковской и др. 2-е изд. М. : Изд-во Юрайт, 2020. 368 с.

управления, чтобы все участники демонстрировали высокую заинтересованность и активность в решении жилищных проблем²⁰. И.С. Глебова, С.С. Бэрман, В.А. Грибовская и др. считают, что следует решить еще множество вопросов, связанных с упразднением избыточных функций надзора, сокращением расходов по эскроу-счетам, должны быть скорректированы финансовые схемы, упорядочены и налажены отношения между субъектами проектного финансирования и управленческие механизмы, способные эффективно контролировать строительные процессы [8, 15].

2. Механизм внешнего регулирования жилищной сферы. Механизм включает следующие составляющие:

- бюджетно-налоговый механизм регулирования строительной отрасли;
- цифровая трансформация строительной отрасли, городского и жилищно-коммунального хозяйства РФ;
- денежно-кредитный механизм регулирования экономики строительной отрасли [15];
- антикризисный механизм поддержки строительной отрасли и ЖКХ РФ.

Последние изменения в механизме внешнего регулирования жилищной сферы связаны с внедрением новых — инновационных мер поддержки строительной отрасли²¹. Строительным компаниям, проектировщикам, компаниям, выполняющим инженерные изыскания, разрешается предоставление займов за счет средств компенсационных фондов. До конца 2022 г. заказчик вправе осуществить закупку для государственных нужд у единственного поставщика в порядке, установленном Постановлением Правительства РФ от 10.03.2022 № 339.

Подлежат списанию неустойки по контрактам, возникшие из-за санкций недружественных государств и (или) ограничительных мер²². Предусматриваются оптимизация и сокращение сроков разработки и согласования градостроительной документации, проведения общественных обсуждений или публичных слушаний по проектам такой документации²³. На один год продлевается срок действия разрешений на строительство объ-

ектов капитального строительства и срок действия всех градостроительных планов земельных участков. С 15.04.2022 до 01.01.2023 г. вводится упрощенная процедура получения документов по планировке территории, разрешения на строительство и на ввод в эксплуатацию²⁴. В рамках денежно-кредитной политики компании, занимающиеся жилищным строительством, смогут рассчитывать на субсидирование процентной ставки по кредитам²⁵.

3. Система рычагов воздействия. Включает следующие основные формы воздействия на процесс управления жилищными проблемами в РФ:

- ипотечное кредитование (программа «Ипотека»);
- аренда жилья (программа «Арендное жилье»);
- поддержка социально приоритетных категорий граждан;
- организация комфортных для проживания условий;
- передача земельных участков в пользование гражданам на взаимовыгодных условиях;
- обеспечение устойчивого сокращения непригодного для проживания жилищного фонда;
- жилищное строительство;
- единое информационное пространство в строительной сфере;
- высокая финансовая грамотность в жилищной сфере.

4. Система методов инновационного механизма решения жилищной проблемы. Она связана с направлениями, в рамках которых достигается результат применения тех или иных рычагов воздействия [1–6]:

- продолжение развития ипотечного рынка, а также постепенный переход от привлечения денежных средств в доленое строительство жилых домов на другие формы финансирования ЖКХ;
- создание механизмов для развития комфортных городских условий, комплексного развития городов, поселений с учетом показателей качества городских условий;
- модернизация строительной индустрии и повышение качества промышленного жилья, включая установление ограничений на использование устаревших технических средств и стимулирование вне-

²⁰ Марковская Е.И. и др. GR. Взаимодействие бизнеса и органов власти : учеб. и практикум для вузов / под ред. Е.И. Марковской. 2-е изд. М. : Изд-во Юрайт, 2020. 368 с.

²¹ О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации : Федеральный закон от 04.03.2022 № 46-ФЗ. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202203080001>

²² О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 04.07.2018 № 783 : Постановление Правительства РФ от 10.03.2022 № 340. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202203120004>

²³ О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации : Федеральный закон от 11.03.2022 № 58-ФЗ. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202203140011>

²⁴ Об особенностях подготовки, согласования, утверждения, продления сроков действия документации по планировке территории, градостроительных планов земельных участков, выдачи разрешений на строительство объектов капитального строительства, разрешений на ввод в эксплуатацию : Постановление Правительства РФ от 02.04.2022 № 575. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202204050030>

²⁵ О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 30.04.2020 № 629 : Постановление Правительства РФ от 31.03.2022 № 534. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202204010050>

дрения инновационных технологий в строительстве и проектировании, совершенствование механизмов государственного обеспечения строительства стандартных жилых помещений;

- создание механизмов переселения граждан из непригодного жилого фонда и обеспечение соблюдения их прав по законодательству;
- изменение процедуры казначейского сопровождения госконтрактов;
- мониторинг льготных программ кредитования бизнеса;
- расширение возможности корректировки условий основных параметров концессионных соглашений по строительству автодорог, мостов, железных дорог, школ и других объектов из-за санкционных ограничений;
- льготная ипотечная программа на строительство частных жилых домов своими силами — без оформления договора подряда с профессиональными застройщиками.

5. Система инновационных инструментов решения жилищной проблемы²⁶. Данная составляющая инновационного механизма включает следующие основные формы воздействия на процесс управления жилищной проблемой и формирует наиболее перспективные решения в области обеспечения граждан комфортным и доступным жильем:

- система мер, отражающихся на показателях снижения стоимости вновь построенного жилья в паспорте национального проекта жилья и городской среды;
- признание приоритетного направления развития ЖКХ в РФ — индивидуальное строительство;
- расширение возможностей альтернативного финансирования за счет ипотечно-накопительных и жилищных кооперативов;
- внедрение стандарта комплексного развития территорий как обязательного во всех субъектах РФ;
- разработка и принятие федерального проекта «Развитие жилья» в качестве основного инструмента предоставления жилья гражданам с низким и средним доходом;
- унификация механизма поддержки жилья, определение федеральным законом единого жилищного стандарта для признания граждан, нуждающихся в жилье, и четко прописанного алгоритма предоставления такого жилья;
- внедрение централизованного персонального учета населения, необходимого для улучшения условий жилищного обеспечения;
- расширение форм удовлетворения потребностей граждан в жилье и мер государственной поддержки, включая ипотеку, накопительную схему предоставления жилищного фонда, субсидию на покупку жилья, аренду жилья, кооперацию, фи-

нансовую и безфинансовую поддержку частных застройщиков и др.

По прогнозам Общественной палаты Российской Федерации, система методов инновационного механизма решения жилищных проблем, входящая в состав основных элементов механизма (рис.), позволит снизить стоимость квадратного метра более чем в 2 раза и обеспечит безопасность социально незащищенных граждан, даст возможность органам государственной власти и местного самоуправления брать в наем необходимый объем жилого фонда у обеспеченных граждан для последующей сдачи его социально незащищенным слоям населения.

Результативность работы сформированного государством инновационного механизма решения жилищных проблем зависит от многих факторов. В статье представлены результаты исследования влияния десяти факторов на результирующий показатель — ДС. Этот критерий был выбран из-за его универсальности, он показывает семьи, имеющие возможность приобретать жилье в соответствии с условиями государственной жилищной политики, и учитывает как собственные, так и заемные инвестиции.

Для более точного анализа влияния всех выбранных факторов на уровень ДС (¥) обратимся к данным, полученным в ходе корреляционно-регрессионного анализа (табл. 3).

На основе полученной регрессии был рассчитан доверительный интервал каждого фактора модели, это дает возможность обозначить наихудший и наилучший прогноз изменения результирующего показателя.

Таким образом, интерпретировать изменение параметра ДС можно доказательно большим количеством аргументов. Рост динамики среднедушевых денежных доходов населения на 1,00 % приводит к уменьшению ДС в среднем на 2,06 %. Эта тенденция противоречива, так как считается, что увеличение доходов населения, наоборот, увеличит значение ДС. Однако, если углубиться в структуру денежных доходов населения по источникам поступления, можно заметить, что доходы от предпринимательской и другой производственной деятельности за последние два года резко снизились. Например, в 2010 г. доля таких доходов составляла 8,9 %, в 2019 г. — 6,0 %, а в 2020 г. — 5,2 %. При этом снижаются и реальные располагаемые денежные доходы населения. Также наблюдаются следующие проблемы, которые негативно влияют на результирующий показатель:

- уменьшение доли прироста сбережений населения в структуре использования доходов;
- дифференциация населения по уровню материального достатка;
- уменьшение темпов роста величины прожиточного уровня;
- увеличение дефицита денежного дохода.

²⁶ Специальный доклад «Право на жилье есть у каждого». М. : Общественная палата Российской Федерации, 2020. 60 с.

Табл. 3. Результаты анализа влияния факторов на уровень ДС
Table 3. Results of the analysis of the influence of factors on the level of DS

Факторы / Factor					
Общеэкономические показатели* General economic indicators*		Объем финансовых средств, выделяемых государством на решение жилищных проблем** The amount of financial resources allocated by the state to solve housing problems**		Уровень жизни населения* The standard of living of the population*	
Наихудший прогноз Worst case prognosis	Наилучший прогноз Best Forecast	Наихудший прогноз Worst case prognosis	Наилучший прогноз Best Forecast	Наихудший прогноз Worst case prognosis	Наилучший прогноз Best Forecast
-0,980	-0,400	0,670	1,330	-0,150	0,20
$X^1(-0,69)$ Предпринимательская активность предприятий в группе F — строительство Entrepreneurial activity of enterprises in group F — construction		$X^2(1,00)$ Расходы федерального бюджета на реализацию национального проекта «Обеспечение устойчивого сокращения непригодного для проживания жилищного фонда» Federal budget expenditures on the implementation of the national project “Ensuring Sustainable Reduction of Uninhabitable Housing Stock”		$X^4(-0,016)$ Динамика среднедушевых денежных доходов населения Dynamics of the average monetary income of the population per capita	
3,26	5,95	0,010	0,110	-2,670	-1,450
$X^7(4,60)$ Объем работ, выполненных по виду экономической деятельности «Строительство» Volume of works performed by type of economic activity “Construction”		$X^6(0,06)$ Расходы федерального бюджета на реализацию национального проекта «Формирование комфортной городской среды» Federal budget expenditures on the implementation of the national project “Creation of a comfortable urban environment”		$X^3(-2,06)$ Динамика численности населения, имеющего среднедушевые денежные доходы ниже величины прожиточного минимума Dynamics of the population with the average income per capita below the minimum subsistence level	
-4,87	-2,39	0,60	0,87	-1,730	1,150
$X^9(-3,63)$ Доля инвестиций в основной капитал в ВВП Share of investment in fixed capital in GDP		$X^{10}(-0,29)$ Расходы федерального бюджета на реализацию национального проекта «Жилье» Federal budget expenditures on the implementation of the national project “Housing”		$X^5(-0,29)$ Численность занятых в возрасте 15–72 лет Number of employed people aged 15–72 years	

Примечание: * — данные получены на основе значений статистической отчетности, опубликованной Федеральной службой государственной статистики за период с 2016–2021 гг. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/10705>; ** — данные получены на основе официально опубликованной информации, представленной Минфином России в документах «Бюджет для граждан» за период с 2016–2021 гг. URL: https://minfin.gov.ru/ru/performance/budget/process/utverzhdenie/budget_citizen/

Note: * — the data are based on the values of statistical reports published by the Federal State Statistics Service for the period from 2016 to 2021. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/10705>; ** — data are derived from officially published data provided by the Russian Ministry of Finance in the “Budget for Citizens” documents for the period from 2016–2021. URL: https://minfin.gov.ru/ru/performance/budget/process/utverzhdenie/budget_citizen/

При росте динамики численности занятых в возрасте 15–72 лет на 1,00 % динамика ВВП на душу населения уменьшается в среднем на 0,29 %. На первый взгляд, данную тенденцию трудно объяснить. Считается, что в подавляющем большинстве работодатели ориентированы на работников в возрасте 23–40 лет, так как именно эта группа людей готова к пополнению знаний, обладает лучшим здоровьем, а значит, может внести больший вклад в улучшение жилищных условий своей семьи, однако в России преобладает возраст трудоспособного населения старше 40 лет, им труднее устроиться на работу.

С вероятностью 95,00 % можно утверждать:

- при увеличении динамики предпринимательской активности предприятий в группе F — строительство на 1,00 % динамика ДС упадет в худшем случае на 0,98 %, в лучшем на 0,40 %;
- при увеличении динамики расходов из федерального бюджета на реализацию национального проекта «Обеспечение устойчивого сокращения непригодного для проживания жилищного фонда» на 1,00 % динамика ДС растет при наихудшем прогнозе на 0,67 % и при наилучшем на 1,33 %;
- рост динамики численности населения, имеющего среднедушевые денежные доходы ниже величины прожиточного минимума, на 1,00 % приведет к уменьшению ДС при негативном сценарии на 2,67 % и при позитивном на 1,45 %;
- увеличение динамики среднедушевых денежных доходов населения на 1,00 % приведет к снижению ДС в худшем случае на 0,15 %. В лучшем случае прогнозируется рост ДС на 0,12 %;
- при росте динамики численности занятых в возрасте 15–72 лет на 1,00 % динамика ДС при худшем сценарии уменьшится на 1,72 %. В лучшем случае прогнозируется рост результирующего показателя на 1,15 %;
- при увеличении динамики расходов федерального бюджета на реализацию национального проекта «Формирование комфортной городской среды» на 1,00 % динамика ДС при негативных воздействиях вырастет на 0,01 %, а при позитивных на 0,11 %;
- при росте динамики объема работ, выполненных по виду экономической деятельности «Строительство», на 1,00 % происходит увеличение динамики

ки ВВП на душу населения по ППС при наихудшем раскладе на 3,26 % и при наилучшем на 5,95 %;

- снижение динамики доли инвестиций в основной капитал в ВВП на 1,00 % приведет к уменьшению ДС в наихудшем случае на 4,87 % и в наилучшем на 2,39 %;
- рост динамики расходов федерального бюджета на реализацию национального проекта «Жилье» на 1,00 % приведет к увеличению динамики ДС в наихудшем случае на 0,60 %, в наилучшем на 0,87 %.

Подводя итоги, на данном этапе анализа можно обозначить на основе регрессии наиболее влиятельные факторы на уровень ДС, увеличение которых на 1 % меняет результирующий показатель более чем на 1 %. К таким показателям относятся:

- объем работ, выполненных по виду экономической деятельности «Строительство»;
- динамика численности населения, имеющего среднедушевые денежные доходы ниже величины прожиточного минимума;
- доля инвестиций в основной капитал в ВВП;
- численность занятых в возрасте 15–72 лет.

Вышеперечисленные факторы требуют больше всего внимания для их дальнейшей оптимизации и создания инновационных решений в области жилищных проблем. Также для более точного выявления наиболее важных факторов необходимо провести проверку значимости параметров модели.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для формирования окончательных выводов была проведена проверка достоверности представленных корреляционно-регрессионных моделей и проверка значимости модели в целом по F -критерию (критерий Фишера). Также внутри данной проверки задавалась вероятность ошибки 5 % (табл. 4).

С учетом полученных сведений можно сделать вывод, что регрессионная модель является достаточно точной и достоверной. В конечном итоге из всех выбранных факторов на основе корреляционно-регрессионной модели и t -критерия следует, что требуется в первую очередь решить ряд проблем, связанных с показателями:

- среднедушевые денежные доходы населения;
- доля инвестиций в основной капитал в ВВП.

Табл. 4. Результаты проверки достоверности представленных корреляционно-регрессионных моделей по критерию Фишера
Table 4. Results of verification of reliability of the presented correlation and regression models by Fisher's criterion

Модель Model	$F_{набл}$ F_{obs}	$F_{крит}$ F_{crit}	Вывод Conclusion
1	2289,55	240,54	С вероятностью 95 % полученные регрессионные модели являются значимыми With 95 % probability the obtained regression models are significant
2	34,29	8,89	
3	12,55	5,05	
4	8,63	4,53	

Второстепенной задачей относительно угроз замедления отдачи от инновационных механизмов, реализуемых в жилищной политике, является работа над такими показателями, как:

- охват молодежи образовательными программами среднего и высшего образования;
- численность занятых в возрасте от 15 до 72 лет.

Также необходима оптимизация ряда показателей, позволяющих развивать инновационные решения по увеличению доли семей, которые смогут купить квартиру. В первую очередь следует развивать такие показатели, как:

- объем расходов национального проекта «Обеспечение устойчивого сокращения непригодного для проживания жилищного фонда»;
- объем расходов национального проекта «Жилье»;
- объем работ по виду экономической деятельности «Строительство».

Несмотря на рост динамики данных факторов, по сравнению с развитыми странами, в России наблюдается недостаточно высокий уровень объема работ по виду экономической деятельности «Строительство», что сказывается на динамике цены и спроса на недвижимость [17].

Второстепенной задачей относительно оптимизации показателей для более прогрессивного роста ДС является усовершенствование структуры расходов по национальным проектам. Хотя уже сейчас

государство, реформируя строительную отрасль и ЖКХ, обеспечило переформатирование государственной программы по управлению имуществом, справилось с кризисом, вызванным коронавирусной инфекцией, и массовым банкротством бизнеса, поддержало развитие платформенных компаний и изменение особенности бизнес-модели, корпоративного управления в строительстве. Выход многонациональных компаний из российской экономики и новые направления политики регулирования иностранных инвестиций изменили соотношения в экспортно-импортной политике, затронув всю инвестиционно-строительную сферу и другие области экономической безопасности государства [18]. Сложившаяся ситуация требует более детальной проработки проблем, представленных в табл. 5.

Использование в жилищной политике кластерного подхода, как одной из современных технологий управления региональным развитием, позволяет создать базу для развития малых и средних предприятий строительной сферы. Посредством данного подхода можно решить проблему оплаты труда населения, живущего на небольших территориях, сформировать небольшую и стабильную зону, в которой даже отсутствие ипотеки даст возможность населению решать свои жилищные проблемы. На таких территориях следует применять более сбалансированные финансовые инструменты и дополнительно стимулировать насе-

Табл. 5. Инновационная составляющая в решении жилищной проблемы

Table 5. Innovative component in solving the housing problem

Проблема The problem	Инновационная составляющая Innovative component
Максимально снизить стоимость 1 м ² , без ущерба качеству [1, 11] Reduce the cost per square meter of housing as much as possible, without sacrificing quality [1, 11]	Концепция единой архитектурной и социально-психологической составляющей. Создание инновационной строительной отрасли на базе малой стройиндустрии. Конвейерное производство некоторых элементов строительного процесса. Увеличение деревянных элементов в конструкциях малоэтажных домов Common architectural and socio-psychological concept. Creation of the innovative construction industry on the basis of a small building industry. Transferring most of the house-building process to the factory floor. More use of wooden elements in the construction of low-rise houses which will ensure their energy efficiency, environmental friendliness, good strength characteristics, and a decrease in the cost of 1 m ² of housing
Отсутствие кластерного подхода в решении жилищных проблем регионов РФ [19, 20] Lack of a cluster approach to solving the housing problems of the regions of the Russian Federation [19, 20]	Увеличение количества конструкций, производящихся на базе заводских цехов, за счет этого развитие производства строительных материалов и конструкций в каждом регионе. Разработка базовых типов жилья для малоэтажного строительства. Повышение бытовой квалификации человека. Пересмотр регламентов участия государственных органов власти в решении жилищных проблем. Включение механизмов ГЧП в процессы инвестиционно-строительной сферы Transferring much of the home building process to the factory floor on an assembly line. The typology of family housing should be very advanced and include several suburban housing options - individual homes. Increase the household qualifications of the individual. Establish factory production of technological building materials and housing fragments. It is necessary to revise the regulations for the participation of government agencies in solving the housing problem. Include PPP mechanisms in the processes of investment and construction

Окончание табл. 5 / End of table 5

Проблема The problem	Инновационная составляющая Innovative component
Разработка кредитных механизмов и со субсидирования для приобретения жилья гражданами ²⁷ Develop credit and financial mechanisms that allow citizens to purchase housing ²⁷	Субсидирование процентной ставки на ипотеку. Субсидирование платежей по ипотеке. Ипотечные праздники. Субсидии для покупки и реновации жилья. Налоговая льгота. Другие механизмы по решению жилищных проблем. Ипотека для семьи с двумя детьми и старше. Ипотека на Дальнем Востоке и для военнослужащих. Субсидии по первоначальному взносу молодым семьям до 35 лет, имеющим жилые условия менее 18 м ² на одного человека. Возможность использовать материнский капитал для погашения ипотечных кредитов. Субсидии для погашения ипотеки для многодетных ипотечных заемщиков. Налоговая льгота для покупки и продажи жилья, процентные ипотечные платежи. Бесплатный участок под строительство многодетным семьям. Субсидии на арендные и лизинговые платежи Mortgage interest rate subsidy. Mortgage payment subsidies. Mortgage holidays. Subsidies for home purchases and renovations. Tax credit. Other mechanisms to solve housing problems. Mortgage for a family with two children or older. Mortgage in the Far East and for servicemen. Subsidies on the initial payment to young families under 35 years of age with less than 18 square meters of living space per person. The possibility of using maternity capital to repay mortgages. Mortgage repayment subsidies for borrowers with many children. Tax credit for buying and selling a home; mortgage interest payments. Free building lot for large families. Subsidies for rent and lease payments

ление и строителей, например, следует исключить земельный участок под строительство как объект торгов.

По нашему мнению, в сложившихся социально-экономических условиях для регионов России важен вопрос создания малых инновационных предприятий строительной отрасли, которые будут обеспечивать потребности в материалах и конструкциях, необходимых для строительства жилья, а также выполнять полный комплекс работ по возведению инфраструктуры и, как следствие, наличие высоко комфортного проживания на указанной территории. Кроме того, эти предприятия будут обеспечивать проведение качественной реновации.

Таким образом, наиболее перспективными направлениями развития жилищно-строительного комплекса, по результатам последних исследований, являются организация транспортной и инженерной инфраструктуры; старт производства модульных сборных конструкций для жилищного строительства, что даст возможность удешевить стоимость квадратного метра даже по сравнению с импортными аналогами. Представленные в статье инновационные методики позволят изменить ментальность населения, грамотно пропагандируя еще новые для России технологии строительства жилья, популяризируя загородный образ жизни.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Trisuci R., Wiranegara H.W., Supriatna Y., Ramadhani A.* Balanced housing policy optimization // *International Journal of Scientific and Technology Research.* 2020. Vol. 9. Issue 3. Pp. 3025–3027.
2. *Siegmunt O.* The historical development of the housing policy of Russian cities from pre-industrialization period to free real estate market //

Planning Perspectives. 2020. Vol. 35. Issue 6. Pp. 955–968. DOI: 10.1080/02665433.2019.1642236

3. *Леонова Л.Б.* Методология управления строительством доступного жилья и ЖКУ : монография. Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2018. 92 с.

4. *Смирнова Н.Д.* Анализ развития жилищного строительства последнего десятилетия в Россий-

²⁷ Ипотека и доступность жилья. Аналитическая записка. URL: https://cbr.ru/Content/Document/File/105729/analytic_note_20200312_dip.pdf

ской Федерации // Инженерный вестник Дона. 2022. № 6 (90). С. 423–429.

5. Solodilova L.A. Social housing in Russia: Yesterday, today, tomorrow // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 988. P. 052038. DOI: 10.1088/1755-1315/988/5/052038

6. Vavilova T. Social-oriented methods as a promising tool for Russian affordable housing design // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 753. Issue 3. P. 032014. DOI: 10.1088/1757-899X/753/3/032014

7. Митрофанов Н.Г., Конева А.В. Проблемы реализации жилищной политики в России // Инновации и инвестиции. 2020. № 4. С. 248–250.

8. Glebova I.S., Berman S.S., Gribovskaya V.A. Housing construction: problems and prospects (as exemplified by Russia) // Relacoes Internacionais no Mundo Atual. 2022. Vol. 2. Issue 35. С. 182–196. DOI: 10.21902/Revrima.v2i35.5727

9. Шамин А.Е., Воронков А.Н., Елфимов О.М. Факторы угроз экономической безопасности городской агломерации и меры по их устранению // На страже экономики. 2020. № 3 (14). С. 75–86. DOI: 10.36511/2588-0071-2020-3-75-86

10. Kornilov P.P., Lapaev D.N., Lapaeva O.N. Housing innovation management: strategic directions of development // International Journal of Management. 2020. Vol. 11. Issue 5. Pp. 524–549. DOI: 10.34218/IJM.11.5.2020.049

11. Suprun E., Stewart R.A., Sahin O., Panuwatwanich K., Shcherbachenko Y. Systems thinking and modelling in innovative housing // 2018 Joint Asia-Pacific Network for Housing Research and Australasian Housing Researchers Conference, APNHR and AHRC 2018 – Proceedings. 2020. Pp. 108–116.

12. Грабовый П.Г., Самосудова Н.В. Законодательная основа, правоприменение и перспективы развития жилищной политики и жилищных отношений // Недвижимость: экономика, управление. 2020. № 2. С. 73–82. DOI: 10.22227/2073-8412.2020.2.73-82

Поступила в редакцию 15 августа 2022 г.

Принята в доработанном виде 17 августа 2022 г.

Одобрена для публикации 17 августа 2022 г.

13. Ermilova M., Kalinkin E., Semenkova E., Kalinkina K. Foreign housing markets: questions of price policy // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 159. P. 05014. DOI: 10.1051/e3sconf/202015905014

14. Петриченко Г.С., Фофанов Н.Е., Петриченко Д.Г. Взаимодействие органов государственной власти и органов местного самоуправления в сфере жилищного строительства // Вестник Академии знаний. 2021. № 47 (6). С. 304–307. DOI: 10.24412/2304-6139-2021-6-304-307

15. Шохин А.Н., Палагина А.А. Взаимодействие государства и строительного бизнеса в процессе перехода от отношений долевого участия к проектно-му финансированию: предпосылки и рекомендации по определению негативных последствий // Бизнес. Общество. Власть. 2018. № 2 (28). С. 60–75.

16. Shalamov G.A., Shokhonova K.E., Ageeva N.A., Savchenko I.A. The features of mortgage lending in Russia in the context of the COVID-19 pandemic // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 751. Issue 1. P. 012174. DOI: 10.1088/1755-1315/751/1/012174

17. Rybak S. Mortgage and mortgage lending as a tool for financial recovery of the modern Russian economy // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 273. P. 08109. DOI: 10.1051/e3sconf/202127308109

18. Kirschke P., Sietko D. The function and potential of innovative reinforced concrete prefabrication technologies in achieving residential construction goals in Germany and Poland // Buildings. 2021. Vol. 11. Issue 11. P. 533. DOI: 10.3390/buildings11110533

19. Верстина Н.Г., Цуверкалова О.Ф. Современное состояние инновационной деятельности регионов РФ // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. № 6. С. 769–789. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.6.769-789

20. Kalyukin A., Kohl S. Continuities and discontinuities of Russian urban housing: the soviet housing experiment in historical long-term perspective // Urban Studies. 2020. Vol. 57. Issue 8. Pp. 1768–1785. DOI: 10.1177/0042098019852326

ОБ АВТОРАХ: Елена Владимировна Савоскина — кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры менеджмента и инноваций; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 1623-2453, Scopus: 57192541660, ResearcherID: N-6294-2016, ORCID: 0000-0001-7723-0793; savoskina@mail.ru;

Наталья Анатольевна Солопова — доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры менеджмента и инноваций; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 4266-4776, Scopus: 57193075378, ResearcherID: N-8850-2016, ORCID: 0000-0003-2034-4321; ushanovan@mail.ru;

Екатерина Петровна Акри — кандидат экономических наук, доцент, директор колледжа; Самарский государственный технический университет (СамГТУ); 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244; SPIN-код: 9971-7760, Scopus: 57216581010, ResearcherID: O-2095-2016, ORCID: 0000-0002-5619-4559; ekaterinaacri@gmail.com;

Светлана Валентиновна Домнина — доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры землеустройства и кадастров; Самарский государственный экономический университет (СГЭУ); 443090, г. Самара,

ул. Советской Армии, д. 141; SPIN-код: 4266-4776, Scopus: 57193075862, ResearcherID: N-8847-2017, ORCID: 0000-0002-3805-5651; swdomnina@mail.ru.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Trisuci R., Wiranegara H.W., Supriatna Y., Ramadhani A. Balanced housing policy optimization. *International Journal of Scientific and Technology Research*. 2020; 9(3):3025-3027.
2. Siegmunt O. The historical development of the housing policy of Russian cities from pre-industrialization period to free real estate market. *Planning Perspectives*. 2020; 35(6):955-968. DOI: 10.1080/02665433.2019.1642236
3. Leonova L.B. *Methodology of management of construction of affordable housing and housing and communal services*. Ekaterinburg, UrGUPS, 2018; 92. (rus.).
4. Smirnova N.D. Analysis of the development of housing construction in the last decade in the Russian Federation. *Engineering journal of Don*. 2022; 6(90):423-429. (rus.).
5. Solodilova L.A. Social housing in Russia: Yesterday, today, tomorrow. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022; 988:052038. DOI: 10.1088/1755-1315/988/5/052038
6. Vavilova T. Social-oriented methods as a promising tool for Russian affordable housing design. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020; 753(3):032014. DOI: 10.1088/1757-899X/753/3/032014
7. Mitrofanov N.G., Koneva A.V. Problems of realization of housing policy in Russia. *Innovations and Investments*. 2020; 4:248-250. (rus.).
8. Glebova I.S., Berman S.S., Gribovskaya V.A. Housing construction: problems and prospects (as exemplified by Russia). *Relacoes Internacionais no Mundo Atual*. 2022; 2(35):182-196. DOI: 10.21902/Revrima.v2i35.5727
9. Shamin A., Voronkov A., Elfimov O. Factors of threats to economic security of urban agglomeration and measures to eliminate them. *The Economy Under Guard*. 2020; 3(14):75-86. DOI: 10.36511/2588-0071-2020-3-75-86 (rus.).
10. Kornilov P.P., Lapaev D.N., Lapaeva O.N. Housing innovation management: strategic directions of development. *International Journal of Management*. 2020; 11(5):524-549. DOI: 10.34218/IJM.11.5.2020.049
11. Suprun E., Stewart R.A., Sahin O., Panuwatwanich K., Shcherbachenko Y. Systems thinking and modelling in innovative housing. *2018 Joint Asia-Pacific Network for Housing Research and Australasian Housing Researchers Conference, APNHR and AHRC 2018 — Proceedings*. 2020; 108-116.
12. Graboviy P.G., Samosudova N.V. Legislative framework, enforcement and prospects for the development of housing policy and housing relations. *Real Estate: Economics, Management*. 2020; 2:73-82. DOI: 10.22227/2073-8412.2020.2.73-82 (rus.).
13. Ermilova M., Kalinkin E., Semenkova E., Kalinkina K. Foreign housing markets: questions of price policy. *E3S Web of Conferences*. 2020; 159:05014. DOI: 10.1051/e3sconf/202015905014
14. Petrichenko G.S., Fofonov N.E., Petrichenko D.G. Interaction of state authorities and local government bodies in the sphere of housing construction. *Bulletin of the Academy of Knowledge*. 2021; 47(6):304-307. DOI: 10.24412/2304-6139-2021-6-304-307 (rus.).
15. Shokhin A., Palagina A. Interaction of state and construction business in context of transition from share holding relations to project financing: prerequisites and recommendations for countering negative effects. *Business. Society. Power*. 2018; 2(28):60-75. (rus.).
16. Shalamov G.A., Shokhonova K.E., Ageeva N.A., Savchenko I.A. The features of mortgage lending in Russia in the context of the COVID-19 pandemic. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021; 751(1):012174. DOI: 10.1088/1755-1315/751/1/012174
17. Rybak S. Mortgage and mortgage lending as a tool for financial recovery of the modern Russian economy. *E3S Web of Conferences*. 2021; 273:08109. DOI: 10.1051/e3sconf/202127308109
18. Kirschke P., Sietko D. The function and potential of innovative reinforced concrete prefabrication technologies in achieving residential construction goals in Germany and Poland. *Buildings*. 2021; 11(11):533. DOI: 10.3390/buildings11110533
19. Verstina N.G., Tsuverkalova O.F. Current state of innovative activities in the Russian regions. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2022; 17(6):769-789. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.6.769-789 (rus.).
20. Kalyukin A., Kohl S. Continuities and discontinuities of Russian urban housing: the soviet housing experiment in historical long-term perspective. *Urban Studies*. 2020; 57(8):1768-1785. DOI: 10.1177/0042098019852326

Received August 15, 2022.

Adopted in revised form on August 17, 2022.

Approved for publication on August 17, 2022.

B I O N O T E S: **Elena V. Savoskina** — Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, 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; SPIN-code: 1623-2453, Scopus: 57192541660, ResearcherID: N-6294-2016, ORCID: 0000-0001-7723-0793; savoskina@mail.ru;

Natalia A. Solopova — Doctor of Economic Sciences, Associate Professor, 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; SPIN-code: 4266-4776, Scopus: 57193075378, ResearcherID: N-8850-2016, ORCID: 0000-0003-2034-4321; ushanovan@mail.ru;

Ekaterina P. Akri — Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Director of College; **Samara State Technical University (SamGTU)**; 244 Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation; SPIN-code: 9971-7760, Scopus: 57216581010, ResearcherID: O-2095-2016, ORCID: 0000-0002-5619-4559; ekaterinaacri@gmail.com;

Svetlana V. Domnina — Doctor of Economics, Associate Professor, Professor of the Department of Land Management and Cadastres; **Samara State Economic University (SSEU)**; 141 Sovetskaya Armiya st., Samara, 443090, Russian Federation; SPIN-code: 4266-4776, Scopus: 57193075862, ResearcherID: N-8847-2017, ORCID: 0000-0002-3805-5651; swdomnina@mail.ru.

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

The authors declare no conflict of interest.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ НАУЧНОЙ СТАТЬИ

Текст статьи набирается в файлах в формате .docx.

СТРУКТУРА НАУЧНОЙ СТАТЬИ

Научная статья должна состоять из следующих структурных элементов: заголовок, список авторов, аннотация, ключевые слова, основной текст, сведения об авторах, список источников.

Заголовок, список авторов, аннотация, ключевые слова, список источников указываются последовательно на русском и английском языках.

Заголовок к статье должен соответствовать основному содержанию статьи. Заголовок статьи должен кратко (не более 10 слов) и точно отражать объект, цель и новизну, результаты проведенного научного исследования. Он должен быть информативным и отражать уникальность научного творчества автора.

Список авторов в краткой форме отражает всех авторов статьи и указывается в следующем формате:

Имя Отчество Фамилия¹, Имя Отчество Фамилия²

¹ Место работы первого автора; город, страна

² Место работы второго автора; город, страна

**если авторов не более четырех, то необходимо указывать полные ФИО, от пяти авторов и более – допустимо использовать инициал*

АННОТАЦИЯ

Основной принцип создания аннотации — информативность. Объем аннотации — от 200 до 250 слов.

Структура и содержание аннотации должны соответствовать структуре и содержанию основного текста статьи.

Аннотация к статье должна представлять краткую характеристику научной статьи. Задача аннотации — дать возможность читателю установить ее основное содержание, определить ее релевантность и решить, следует ли обращаться к полному тексту статьи.

Четкое структурирование аннотации позволяет не упустить основные элементы статьи. Структура аннотации аналогична структуре научной статьи и содержит следующие основные разделы:

- **Введение** — содержит описание предмета, целей и задач исследования, актуальность.
- **Материалы и методы** (или методология проведения работы) — описание использованных в исследовании информационных материалов, научных методов или методики проведения исследования
- **Результаты** — приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, обнаруженные взаимосвязи и закономерности. Предпочтение отдается новым результатам и выводам, которые, по мнению автора, имеют практическое значение.
- **Выводы** — четкое изложение выводов, которые могут сопровождаться рекомендациями, оценками, предложениями, описанными в статье.
- **Ключевые слова** — перечисляются через запятую, количество — от 7 до 10 слов.

Благодарности. Краткое выражение благодарности персонам и/или организациям, которые оказали помощь в выполнении исследования или высказывали критические замечания в адрес вашей статьи. Также в разделе указывается источники финансирования исследования от организаций и фондов организациям и фондам, т.е. за счет каких грантов, контрактов, стипендий удалось провести исследование. Раздел приводится при необходимости.

Аннотация не должна содержать:

- избыточных вводных фраз («Автор статьи рассматривает...», «В данной статье...» и т.д.);
- абстрактного указания на время написания статьи («В настоящее время...», «На данный момент...», «На сегодняшний день...» и т.д.);
- общего описания;
- цитат, таблиц, диаграмм, аббревиатур;
- ссылок на источники литературы;
- информацию, которой нет в статье.

Англоязычная аннотация пишется по тем же правилам. Отметим, что английская аннотация не обязательно должна быть точным переводом русской.

Следует обращать особое внимание на корректность употребления терминов. Избегайте употребления терминов, являющихся прямой калькой русскоязычных. Необходимо соблюдать единство терминологии в пределах аннотации.

Ключевые слова – прообраз статьи в поисковых системах, те точки, по которым читатель может найти вашу статью и определить предметную область текста. Чтобы определить основные ключевые слова для статьи, рекомендуется представить, по каким поисковым запросам читатели могут искать вашу статью. Как правило, ключевые слова также могут включать основную терминологию.

ОСНОВНОЙ ТЕКСТ

Основной текст научной статьи, представляемой в журнал, должен быть оформлен **в соответствии со стандартом IMRaD** и включать следующие разделы:

- Введение;
- Материалы и методы;
- Результаты исследования;
- Заключение и обсуждение.

РИСУНКИ И ТАБЛИЦЫ

Рисунки и таблицы следует вставлять в текст статьи сразу после того абзаца, в котором рисунок впервые упоминается. Рисунки и таблицы должны быть оригинальными (либо с указанием источника), хорошего качества (не менее 300 dpi). Оригиналы рисунков предоставляются в файлах формата .jpg, .tiff (название файла должны соответствовать порядковому номеру рисунка в тексте) Размер шрифта должен соответствовать размеру шрифта основного текста статьи. Линии обязательно не тоньше 0,25 пунктов.

Заголовки таблиц и рисунков выравниваются по левому краю. Заголовок таблицы располагается над ней, начинаясь с сокращения «Табл.» и порядкового номера таблицы, подпись к рисунку располагается под ним, начинаясь с сокращения «Рис.» и порядкового номера. Рисунки и таблицы позиционируются по центру страницы.

Подрисуночные подписи и названия таблиц размещаются на русском и английском языках, каждый на новой строке с выравниванием по левому краю.

Образец:

Рис. 1. Пример рисунка в статье

Figure 1. Example of article image

Табл. 1. Пример таблицы в статье

Table 1. Example of table for article

ФОРМУЛЫ

Формулы должны быть набраны в редакторе формул MathType версии 6 или выше.

Цифры, греческие, готические и кириллические буквы набираются прямым шрифтом; латинские буквы для обозначения различных физических величин (A , F , b и т.п.) — курсивом; наименования тригонометрических функций, сокращенные наименования математических понятий на латинице (max, div, log и т.п.) — прямым; векторы (\mathbf{a} , \mathbf{b} и т.п.) — жирным курсивом; символы химических элементов на латинице (Cl, Mg) — прямым.

Запись формулы выполняется автором с использованием всех возможных способов упрощения и не должна содержать промежуточные преобразования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Список источников составляется в порядке упоминания в тексте. Порядковый номер источника в тексте (ссылка) заключается в квадратные скобки. Текст статьи должен содержать ссылки на все источники из списка литературы. 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 попытки 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, указывают, 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 желательнее раскрыть перспективы развития темы.

В данном разделе не приводятся 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 теплопереноса 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.

Вionotes: **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

УФК по г. Москве г. Москва (НИУ МГСУ, л/с 20736X29560) КПП 771601001

(наименование получателя платежа)

7 7 1 6 1 0 3 3 9 1

(ИНН получателя платежа)

0 3 2 1 4 6 4 3 0 0 0 0 0 0 1 7 3 0 0

(номер счета получателя платежа)

в ГУ Банка России по ЦФО

(наименование банка получателя платежа)

БИК 0 0 4 5 2 5 9 8 8

КБК

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 3 0

ОКТМО

4 5 3 6 5 0 0 0

Вестник МГСУ - 573.34 руб. х 12 экз.
подписка на январь, февраль, март, апрель, май, июнь,
июль, август, сентябрь, октябрь, ноябрь, декабрь 2022 г.

Вестник МГСУ

(наименование платежа)

(номер лицевого счета (код) плательщика)

Ф.И.О

плательщика _____

Адрес

плательщика _____

Сумма

платы

за

Сумма

платежа 6 880 руб. 00 коп. услуги _____ руб. _____ коп.

Итого _____ руб. _____ коп. « _____ » _____ 20 _____ г.

С условиями приема указанной в платежном документе суммы, в т.ч. с суммой взимаемой платы за услуги банка, ознакомлен и согласен.

Подпись

плательщика _____

Извещение

Кассир

УФК по г. Москве г. Москва (НИУ МГСУ, л/с 20736X29560) КПП 771601001

(наименование получателя платежа)

7 7 1 6 1 0 3 3 9 1

(ИНН получателя платежа)

0 3 2 1 4 6 4 3 0 0 0 0 0 0 0 1 7 3 0 0

(номер счета получателя платежа)

в ГУ Банка России по ЦФО

(наименование банка получателя платежа)

БИК 0 0 4 5 2 5 9 8 8

КБК

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 3 0

ОКТМО

4 5 3 6 5 0 0 0

Вестник МГСУ - 573.34 руб. х 12 экз.
подписка на январь, февраль, март, апрель, май, июнь,
июль, август, сентябрь, октябрь, ноябрь, декабрь 2022 г.

Вестник МГСУ

(наименование платежа)

(номер лицевого счета (код) плательщика)

Ф.И.О

плательщика _____

Адрес

плательщика _____

Сумма

платы

за

Сумма

платежа 6 880 руб. 00 коп. услуги _____ руб. _____ коп.

Итого _____ руб. _____ коп. « _____ » _____ 20 _____ г.

С условиями приема указанной в платежном документе суммы, в т.ч. с суммой взимаемой платы за услуги банка, ознакомлен и согласен.

Подпись

плательщика _____

Квитанция

Кассир

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. 14-23), podpiska@mgsu.ru.

Подробную информацию о вариантах подписки на «Вестник МГСУ» для физических и юридических лиц смотрите на сайте журнала <http://vestnikmgsu.ru/>

