

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

ВЕСТНИК МГСУ

Научно-технический журнал
по строительству и архитектуре

Том 17 Выпуск 7 /2022
Vol. Issue

VESTNIK MGSU

Monthly Journal on Construction
and Architecture

DOI: 10.22227/1997-0935.2022.7

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

ВЕСТНИК МГСУ

Научно-технический журнал по строительству и архитектуре

**Том 17. Выпуск 7
2022**

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

Сквозной номер 164

VESTNIK MGSU

Monthly Journal on Construction and Architecture

**Volume 17. Issue 7
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	25.07.2022.
Подписан в свет	29.07.2022.

Формат 60×84/8. Усл. печ. л. 17,67. Тираж 100 экз. (1-й завод 50 экз.). Заказ № 213

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*

Редакторы: *Татьяна Владимировна Бердникова,*
Людмила Борисовна Корзухина

Корректор: *Оксана Валерьевна Ермихина*

Перевод на английский язык: *Ольга Валерьевна Юденкова*

Дизайн и верстка: *Алина Германовна Алейникова,*
Ольга Григорьевна Горюнова

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

Председатель редакционного совета

Александр Романович Туснин, д-р техн. наук., 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:	25.07.2022

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 Jemioło, 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

Roode Liias, Tallin University of Technology, Estonia

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

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

Miroslav Premrov, University of Maribor, Republic of Slovenia

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

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

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, Wrocław University of Technology, Republic of Poland

Editorial team of issues

Executive editor: *Anna A. Dyadicheva*

Corrector: *Oksana V. Erimihina*

Editors: *Tat'yana V. Berdnikova,*
Lyudmila B. Korzukhina

Layout: *Alina G. Aleynikova, Olga G. Goryunova*

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

АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ И РЕСТАВРАЦИЯ

Н.Г. Юшкова, Д.Н. Никифорова

Градостроительная специфика взаимодействия региональных систем расселения с производственными территориями, имеющими специальные режимы хозяйственного использования	845
--	-----

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

З.Г. Тер-Мартirosян, К.А. Филиппов

Решение задачи осадки свай под действием вертикальной статической нагрузки с учетом пластических свойств грунтов основания	871
--	-----

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

Включение ортотропных плит настила в работу несущих конструкций мостов из алюминиевых сплавов	882
---	-----

БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА

И.Ю. Глинянова, Н.В. Асанова, В.Т. Ерофеев, В.В. Афонин

Интегральная экспресс-оценка экологического состояния территорий с использованием аэрозольей	897
--	-----

О.Н. Корольченко, А.Д. Корольченко

Определение давления вскрытия легкосбрасываемых конструкций с учетом ветровых нагрузок	914
--	-----

ГИДРАВЛИКА. ГЕОТЕХНИКА. ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Н.В. Шунько, Д.Н. Зуев

Исследование коэффициента отражения волн у причальных сооружений	922
--	-----

А.С. Антонов, Н.П. Караблин, В.А. Минаков, А.В. Карпинский

Разработка и обоснование универсальной конструкции для энергетических испытаний в проточных трактах гидроэлектростанций	933
---	-----

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

А.Л. Торпов

Гидравлическая и тепловая устойчивость работы автономных систем поквартирного теплоснабжения	944
--	-----

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Н.А. Волкова, Л.Л. Королева

Инновационный подход к сделкам с недвижимостью с применением цифровых технологий	954
--	-----

В.В. Глазкова, А.В. Белоконов

Применение инновационных подходов к процессу формирования первоначальной стоимости основных производственных фондов предприятий нефтегазового комплекса	964
---	-----

Требования к оформлению научной статьи	977
--	-----

CONTENTS

ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING. RECONSTRUCTION AND REFURBISHMENT

Natalya G. Yushkova, Daria N. Nikiforova

Urban planning aspects of interaction between regional settlement systems and industrial areas subjected to special modes of operation	846
---	------------

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

Zaven G. Ter-Martirosyan, Kirill A. Filippov

A solution to the problem of pile settlement caused by vertical static loading with consideration to plastic properties of the foundation soil	871
---	------------

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

Getting orthotropic deck plates involved in the structural performance of the bearing structures of bridges made of aluminum alloys	882
--	------------

SAFETY OF CONSTRUCTION AND URBAN ECONOMY

Irina Yu. Glinyanova, Natalia V. Asanova, Vladimir T. Erofeev, Viktor V. Afonin

Using aerosols to make an integrated rapid assessment of the ecological state of territories	897
---	------------

Olga N. Korolchenko, Anton D. Korolchenko

Determining the burst pressure of vent structures with account taken of wind loads.	914
--	------------

HYDRAULICS. GEOTECHNIQUE. HYDROTECHNICAL CONSTRUCTION

Natalia V. Shunko, Nikolai D. Zuev

A study on the wave reflection coefficient near berthing facilities.	922
---	------------

Anton S. Antonov, Nikita P. Karablin, Vladimir A. Minakov, Alexey V. Karpinsky

Development and justification of universal designs for energy tests in flow paths of hydroelectric power plants	933
--	------------

ENGINEERING SYSTEMS IN CONSTRUCTION

Alexey L. Toropov

Hydraulic and thermal stability of independent systems of apartment heating	944
--	------------

TECHNOLOGY AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION. ECONOMICS AND MANAGEMENT IN CONSTRUCTION

Natalia A. Volkova, Liudmila L. Koroleva

An innovative approach to real estate transactions using digital technology	954
--	------------

Valeriya V. Glazkova, Alexander V. Belokonov

The application of innovative approaches to the process of determining the initial cost of fixed assets of oil and gas enterprises	964
---	------------

Requirements for research paper design	977
---	------------

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).

АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ И РЕСТАВРАЦИЯ

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 711.1(4/9) : 711.27

DOI: 10.22227/1997-0935.2022.7.845-870

Градостроительная специфика взаимодействия региональных систем расселения с производственными территориями, имеющими специальные режимы хозяйственного использования

Наталия Геннадиевна Юшкова^{1,2}, Дарья Николаевна Никифорова^{2,3}

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

² *Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ); г. Волгоград, Россия;*

³ *Волгоградское областное архитектурно-планировочное бюро; г. Волгоград, Россия*

АННОТАЦИЯ

Введение. Градостроительное развитие региональных систем расселения зависит от административно-территориального устройства Российской Федерации. Формирование новых видов муниципальных образований — городских и муниципальных округов, муниципальных районов и входящих в их состав городских и сельских поселений — свидетельствует о его модернизации. Перспективы реорганизации региональных систем обусловлены также планированием территорий особых экономических зон как драйверов локальных изменений региональных систем и их отдельных элементов, но способны обеспечивать их комплексное развитие. В целях повышения управляемости региональных систем расселения целесообразно осуществлять оценку динамики локальных градостроительных процессов, а также прогнозировать их последствия.

Материалы и методы. Применялись методы системно-структурного анализа, анализа причинно-следственных связей, оперативного анализа, теоретического и картографического моделирования; использовались официальные данные статистики, документы территориального планирования субъектов РФ, открытые картографические источники, опубликованные результаты научных разработок зарубежных и отечественных исследователей.

Результаты. В регионах европейской части России последние 15 лет активно формируются территории со специальными режимами производственной специализации. Обобщение и систематизация этой практики показывают наличие единого для всех региональных ситуаций комплекса базовых условий их формирования, включающего показатели площади территории, количества и плотности населения. Расчет экстремумов и средних значений этих показателей обеспечивает сравнительную оценку систем в целом и их элементов. Анализ последовательности процесса градостроительной организации таких территорий, особенности их местоположения, сложившийся характер функционально-пространственных связей, потенциал развития, принадлежность к этапу создания, различные планировочные характеристики позволяют выделить основные классы и выявить предпосылки их вовлечения в процессы межмуниципального и межрегионального взаимодействия.

Выводы. Выделены новые свойства и характеристики региональных систем расселения, обусловленные особенностями их административно-территориального устройства. Они выражаются в вариантных состояниях региональных систем, описываемых принципиальными схемами: концентрации, разрежения и турбулентности градостроительных процессов. От них зависят перспективные формы реорганизации региональных систем, которые основываются на конфигурации и параметрах контактно-стыковых зон муниципального и регионального уровней, в форматах концептуальных обоснований и вариантах планировочной организации территорий соответственно.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: особые экономические зоны, региональные системы расселения, территории со специальными режимами использования, контактно-стыковые зоны муниципального и регионального уровней, взаимодействие, региональное планирование

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Юшкова Н.Г., Никифорова Д.Н. Градостроительная специфика взаимодействия региональных систем расселения с производственными территориями, имеющими специальные режимы хозяйственного использования // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 7. С. 845–870. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.7.845-870

Автор, ответственный за переписку: Наталия Геннадиевна Юшкова, ng_yushkova-v@mail.ru.

Вестник МГСУ • ISSN 1997-0935 (Print) ISSN 2304-6600 (Online) • Том 17. Выпуск 7, 2022
Vestnik MGSU • Monthly Journal on Construction and Architecture • Volume 17. Issue 7, 2022

Urban planning aspects of interaction between regional settlement systems and industrial areas subjected to special modes of operation

Natalya G. Yushkova^{1,2}, Daria N. Nikiforova^{2,3}

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

² Volgograd State Technical University (VSTU); Volgograd, Russian Federation;

³ Volgograd Region Architectural and Planning Bureau; Volgograd, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Urban development of regional settlement systems depends on the administrative and territorial structure of the Russian Federation. The establishment of new types of municipalities, such as urban and municipal regions, municipal districts, in which urban and rural settlements function, is the evidence of modernization. Prospects of reorganization of regional systems also depend on the planning of territories of special economic zones as drivers of local changes in the regional systems and their individual elements. However, these prospects ensure their integrated development. To improve the manageability of regional settlement systems, it is reasonable to evaluate the pace of local urban development processes and forecast their consequences.

Materials and methods. To solve the problems of the study, the authors used methods of system-structural analysis, cause-effect analysis, operational analysis, theoretical and cartographic modeling. They also took advantage of the official statistics, space planning documents of the RF subjects, open-access cartographic sources, published results of research projects implemented by foreign and domestic researchers.

Results. Production areas with special modes of industrial specialization have been intensively forming in the regions of the European part of Russia for the past 15 years. Generalization and systematization of this practice show the same basic conditions of their formation, including such indicators as the area of the territory, the population size and density. Calculated extremums and average values of these indicators can be used to make a comparative assessment of the systems as a whole and their individual elements. Analysis of the sequence of the process of urban-planning arrangement of such territories, features of their location, character of functional and spatial communications, development potential, the state of belonging to the stage of establishment, various land use characteristics allow identifying basic classes and prerequisites of their involvement in the processes of intermunicipal and interregional interaction.

Conclusions. New properties and characteristics of regional settlement systems, conditioned by features of their administrative and territorial structure, have been identified. They are expressed in different states of regional systems described by the principle patterns: concentration, rarefaction and turbulence of urban planning processes. They determine prospective forms of reorganization of regional systems, based on the configuration and parameters of contact-junction zones of municipal and regional levels in the formats of conceptual substantiation and options of land use planning.

KEYWORDS: special economic zones, regional systems of settlement, areas with special modes of use, contact-junction zones of municipal and regional levels, interaction, regional planning.

FOR CITATION: Yushkova N.G., Nikiforova D.N. Urban planning aspects of interaction between regional settlement systems and industrial areas subjected to special modes of operation. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2022; 17(7):845-870. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.7.845-870 (rus.).

Corresponding author: Natalya G. Yushkova, yunga555@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Современные социально-экономические процессы оказывают влияние на все без исключения уровни и компоненты пространственной организации территориальных систем расселения. Наиболее выпукло их трансляции проявлены на региональном уровне. Здесь одновременно находят отражения инициативы, сформированные на федеральном уровне, и комплексы разнохарактерных мероприятий, реализуемые преимущественно на муниципальном уровне [1–3]. В данном случае речь идет не об отдельном виде муниципальных образований, а об их типологическом ряде, включающем городские и муниципальные округа, муниципальные районы, городские и сельские поселения. Из-за иерархичности их отношений и многочисленности связей затруднен процесс управления территорией.

Действующая система принятия градостроительных решений призвана противостоять этому. Начало ее формирования принято связывать с разработкой основного федерального закона в сфере градостроительной деятельности — Градостроительного кодекса Российской Федерации. Он предусматривает строгую последовательность профессиональных действий, позволяющих в итоге увязать противоречивые, как правило, интересы развития и имеющиеся возможности отдельных территорий в границах муниципальных образований и обеспечить бесконфликтное, как минимум, и сбалансированное, как искомое, развитие региональных систем расселения [4, 5]. Его неполнота и некоторое запаздывание во времени по отношению к реальным градостроительным процессам вызывает потребность в активизации научного поиска.

При определении оптимальных способов решения подобных проблем ученые и специалисты в области градостроительства стремятся следовать основополагающим принципам устойчивого развития территорий, сохраняющим свою актуальность не первое десятилетие, в первую очередь благодаря их междисциплинарному характеру [6–9]. Во многих современных исследованиях подчеркивается именно этот аспект разработки перспективных пространственных форм существования региональных систем. Также выделяются работы, раскрывающие положения различных теоретических концепций, обеспечивающие повышение качества среды жизнедеятельности человека на всех уровнях ее пространственной организации [10–13]. Детальные характеристики этого процесса, особенности проявления регионального контекста и конкретных территорий раскрываются в исследованиях, развивающих тему территориальной идентичности [14, 15]. Следует отметить исследования, раскрывающие способы гармонизации среды жизнедеятельности человека и его пространственного окружения на основе новых стандартов качества проживания на урбанизированных территориях, определяемые, в том числе, перспективами инноватизации пространственных структур регионального уровня [16–21].

Крупный блок научных исследований объединяет работы по вопросам совершенствования методологии разработки градостроительных решений. В его рамках рассматривается применимость теоретических положений новых концепций к реальным проблемным сферам и ситуациям. Перспективы исследований открываются в связи с выявлением новых признаков и характеристик среды жизнедеятельности, выражаемых в расширении спектра градостроительных свойств организации территории, объектов и их комплексов, требований по их учету на ее региональном уровне [20, 22–25]. Не меньшее значение для дальнейшего развития градостроительной науки имеют исследования, направленные на определение места и роли профессионального инструментария в обеспечении сбалансированности региональных систем. Подобные проблемы решаются посредством изучения общих вопросов управления территориальными системами [26–28], установления их взаимосвязи с территориальным планированием [20, 29, 30], учета градостроительных особенностей организации населенных мест и их функциональной специализации [31, 32], а также значимости сохранения базовых форм поддержания процессов жизнедеятельности и обеспечения преемственности развития [8, 13, 24]. В этой связи следует отметить прогрессивность исследований, указывающих на целесообразность активного использования в системе градостроительной деятельности системных принципов [8, 33].

Несмотря на достаточно широкий спектр современных достижений в градостроительной сфере, отмечаются тенденциозные явления и процессы

[34–36], не получившие полноты научного освещения в профильных работах.

В частности, речь идет о формировании территорий с преференциальными режимами осуществления хозяйственной деятельности, которые понимаются как «точки роста» — катализаторы пространственного развития регионов [37]. Своим появлением они обязаны прежде всего социально-экономическим, а не градостроительным факторам, а также принятию законодательных и специальных нормативно-правовых актов. В результате жестких регламентирующих действий происходит направленное точечное стимулирование процессов развития. Поэтому вызываемые ими в региональных системах изменения носят локальный характер [3, 5, 27]. Классификация формирующихся территорий осложняется из-за отсутствия должной систематизации современной градостроительной практики. Поэтому оставлять далее данные вопросы без профессионального внимания не представляется возможным. То, что подобные территории имеют высокий градостроительный потенциал развития, способно качественно улучшать состояние территориальных систем, в части создания благоприятного регионального климата [5, 20, 21], формирования брендов [5, 8, 21, 27], перспективных направлений межрегиональных связей [2, 3, 21].

Представляется, что целенаправленная планировочная организация территорий, относящихся к этому типу, а также зон их влияния в различных региональных ситуациях приведет к повышению комфортности среды жизнедеятельности человека. Достижение прогнозируемых показателей развития таких территорий возможно при условии объединения усилий ученых-градостроителей, экспертного профессионального сообщества и органов государственной власти. Как результат этого вырабатываются общие стандарты принятия градостроительных решений в формате градостроительной документации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для систематизации современной практики градостроительной организации особых экономических зон производственной специализации (ОЭЗ ПС) в региональных системах расселения и ее последующей периодизации были использованы документы территориального планирования Липецкой, Тульской, Калужской, Владимирской, Воронежской, Орловской областей (Центральный федеральный округ); республик Башкортостан и Татарстан, Нижегородской и Самарской областей (Приволжский федеральный округ); Псковской области (Северо-Западный федеральный округ) и Астраханской области (Южный федеральный округ). Для проведения оперативного анализа применительно к указанным региональным системам были использованы открытые картографические источники, а также официальные данные статистики. На их основе были определены и систе-

материзованы базовые условия формирования ОЭЗ ПС. Анализ полученных результатов позволил рассчитать экстремумы и средние значения для этих объектов, классифицировать ОЭЗ ППС, определить их классы с наибольшей и с наименьшей градостроительной активностью процессов их создания, а также обосновать выбор региональных систем в Центральном федеральном округе (Липецкая, Тульская, Владимирская области) и в Приволжском федеральном округе (республика Татарстан). С помощью системно-структурного анализа и теоретического моделирования выделены элементы первого порядка, — приоритетные планировочные узлы, и элементы второго порядка, которые в совокупности обеспечивают устойчивость региональных систем расселения и при этом способствуют их инноватизации. В качестве нового способа теоретического описания региональных систем и их изменений предложено использование контактно-стыковых зон муниципального и регионального уровней.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В практике пространственного развития регионов Российской Федерации последних 10–12 лет отмечается появление объектов нового типа — территорий с преференциальными режимами хозяйственного использования. Они возникают как результат направленных действий органов государственной власти в субъектах РФ, регламентируемых специальными законодательными актами федерального уровня.

В частности, речь идет о целенаправленно организуемом процессе формирования территорий с преференциальными режимами хозяйственного использования в статусе особых экономических зон.

Мировой опыт свидетельствует об их возникновении повсеместно, с некоторыми поправками на политические, экономические, историко-культурные, инфраструктурные условия развития.

Широко распространенная на сегодняшний день в нашей стране практика локального освоения специальных территорий обязана принятию в 2005 году Федерального закона «Об особых экономических зонах в Российской Федерации» (№ 116-ФЗ от 22.06.2005). В законе особые экономические зоны (ОЭЗ), в зависимости от их основного назначения, подразделяются на четыре вида: промышленно-производственные ОЭЗ, технико-внедренческие ОЭЗ, портовые ОЭЗ, туристско-рекреационные ОЭЗ [3, 27]. Видовым разнообразием не объясняется выбор территорий для их размещения. Имеется в виду, что в границах субъектов Российской Федерации одновременно могут быть сформированы любые комбинации указанных функциональных видов ОЭЗ. Это утверждение справедливо и для территорий особых экономических зон промышленно-производ-

ственного типа ОЭЗ (далее ОЭЗ производственной специализации, или ОЭЗ ПС).

Исследование показало возможность инициирования процесса их создания безотносительно к какому-либо специальному требованию. Вместе с тем отмечаются характерные отличия ОЭЗ ПС от других видов ОЭЗ, объясняемые не только их основной функциональной программой. Выявлено, что отличительные градостроительные особенности ОЭЗ ПС объясняются спецификой их размещения как в границах регионов, так и в границах их отдельных структурных единиц: городских и муниципальных округах, муниципальных районов, городских и сельских поселений. Выбор территорий для размещения ОЭЗ ПС не является типовым из-за иерархичности административно-территориальных единиц и многочисленности связей между ними. Процесс формирования ОЭЗ ПС в российских регионах в целом имеет относительно небольшую продолжительность. Кроме того, в связи с неравномерностью образования ОЭЗ ПС, к настоящему времени они находятся на разных стадиях развития, что не позволяет напрямую сопоставлять планировочные результаты их освоения и застройки.

Следовательно, градостроительную специфику организации ОЭЗ ПС следует соотносить с определяемыми характерными этапами их создания. Для этого проведена систематизация современного опыта их формирования применительно к Европейской части Российской Федерации. Таким образом, проводимый анализ затрагивает Центральный, Приволжский, Северо-Западный и Южный федеральные округа.

Полученные ранее результаты позволяют выделять три основных этапа их формирования. Они различаются: институциональными условиями формирования, существующим состоянием отдельных муниципальных образований, наличием предпосылок к перспективному развитию, выявлением потенциала формирования внутренних и внешних связей, а также планировочными вариантами: фрагментарными, островными и сетевыми схемами реорганизации региональных систем [27]. В границах данного исследования систематизируется только современный опыт формирования ОЭЗ ПС применительно к Европейской части Российской Федерации. Таким образом, проводимый анализ затрагивает Центральный, Приволжский, Северо-Западный и Южный федеральные округа. Из примеров Центрального федерального округа исключены такие субъекты федерации, как город Москва и Московская область, по причине их несопоставимости с остальными исследуемыми регионами.

В рамках первого этапа (2005–2010 гг.), верхняя граница которого совпадает во времени с разработкой и принятием федерального закона об особых экономических зонах, в Центральном федеральном округе (ЦФО) созданы ОЭЗ «Липецк» (Липецкая область,

Грязинский муниципальный район), а в Приволжском федеральном округе (ПФО) — ОЭЗ «Алабуга» (Республика Татарстан, Елабужский муниципальный район) и ОЭЗ «Тольятти» (Самарская область, Ставропольский муниципальный район) (рис. 1).

В рамках второго этапа (2011–2016 гг.), начало которому положено утверждением критериев оценки эффективности функционирования особых экономических зон, образованы в Северо-Западном федеральном округе (СЗФО) — ОЭЗ «Моглино» (Псковская область, Псковский муниципальный район); в ЦФО — ОЭЗ «Калуга» (Калужская область, Людино-вский муниципальный район), ОЭЗ «Узловая» (Тульская область, Узловский муниципальный район); в Южном федеральном округе (ЮФО) — ОЭЗ «Лотос» (Астраханская область, Наримановский муниципальный район) (рис. 1).

Третий этап (2018–2020 гг.) отличается от предшествующих возобновлением процедур поддержки региональных инициатив по развитию территорий с особыми режимами осуществления хозяйственной деятельности и проведением национального конкурсного отбора заявок на их открытие. В рамках этого этапа в ЦФО образованы ОЭЗ «Доброград-1» (Владимирская область, Ковровский муниципальный район), ОЭЗ «Центр» (Воронежская область, Новоусманский муниципальный район), ОЭЗ «Орел» (Орловская область, Мценский муниципальный район); а в ПФО — ОЭЗ «Кулибин» (Нижегородская область, городской округ город Дзержинск), ОЭЗ «Алга» (республика Башкортостан, Ишимбайский и Стерлитамакский муниципальные районы) (рис. 1).

Получены новые данные, касающиеся создания ряда ОЭЗ ПС в течение 2021–2022 гг. в Ивановской, Смоленской и Курской областях (ЦФО), в Оренбургской области (ПФО), в Новгородской области (СЗФО) как соответствующие обновленным требованиям и утвержденные постановлениями Правительства Российской Федерации. Это позволяет выделить хронологические рамки четвертого этапа (2021 г. – настоящее время) (рис. 1).

Таким образом, рис. 1 демонстрирует сводные характеристики размещения последовательного формирования ОЭЗ ПС в регионах Российской Федерации, расположенных в Центральном и Приволжском федеральных округах. Их выбор обусловлен наибольшей активностью оцениваемого процесса.

Дальнейшее исследование касалось определения качественных и количественных характеристик базовых условий формирования ОЭЗ ПС в региональных системах расселения Центрального, Северо-Западного, Южного федеральных округов (табл. 1), а также Приволжского федерального округа (табл. 2). Установлено, что для комплексной оценки базовых условий региона необходимо определять характеристики элементов системы (городских округов, муниципальных округов и муниципальных районов), учитывающих существующие особенности административно-территориального деления.

Полученные характеристики базовых условий формирования ОЭЗ ПС в региональных системах расселения обеспечивают сравнительную оценку региональных систем в целом и их элементов.

Для определения новых свойств региональных систем, — их состояний, — требуется осуществление расчета экстремумов и средних значений выделенных показателей региональных систем расселения и их элементов. Для проведения расчета были использованы актуальные статистические данные, позволяющие оценить состояние территорий городских округов и муниципальных районов Центрального и Приволжского федеральных округов, в границах которых размещаются оцениваемые особые экономические зоны (табл. 3).

Классификация территорий ОЭЗ ПС осуществлялась преимущественно на основе полученных сравнительных оценок процесса их современного формирования в Центральном, Приволжском, Северо-Западном и Южном федеральных округах. При классификации учитывались их общие и частные характеристики, особенности размещения в регионах, принадлежность к периоду создания, общая площадь, занятая территориями ОЭЗ в региональных системах и т.п.

Как результат этого, ОЭЗ ПС объединены в четыре класса. Принадлежность объектов к классам устанавливается на основании параметров каждого класса в соответствующих диапазонах. I класс: 0–3,0 км²; II класс: 3,0–9,0 км²; III класс: 9,0–27,0 км²; IV класс: более 27 км². Это позволило осуществить группировку ОЭЗ ПС в каждом из оцениваемых федеральных округов (табл. 4).

На основании представленной классификации ОЭЗ ПС в Центральном федеральном округе распределены в классы следующим образом.

В I класс объединены ОЭЗ ПС, размещаемые в Орловской области (ОЭЗ «Орел», 182 га), Владимирской области (ОЭЗ «Доброград-1», 210 га), Воронежской области (ОЭЗ «Центр», 220 га).

Во II класс — ОЭЗ ПС, размещаемые в Тульской области (ОЭЗ «Узловая», 470 га), в Калужской области (ОЭЗ «Калуга», 625 га и 369 га).

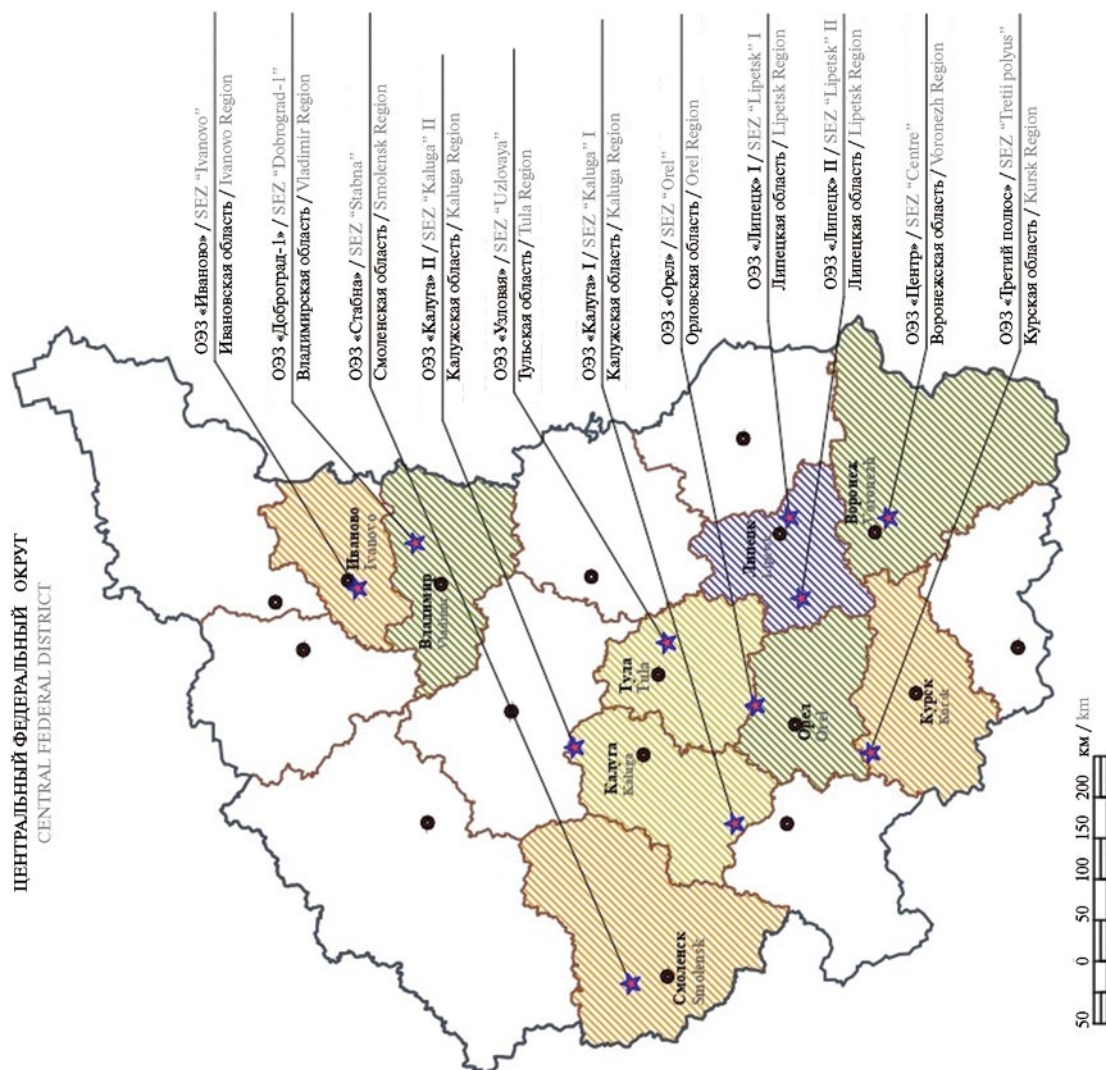
В III класс — ОЭЗ ПС, размещаемые в Липецкой области (ОЭЗ «Липецк», 1024 га).

В Приволжском федеральном округе объединение ОЭЗ ПС в классы осуществлялось аналогично с использованием вышеуказанных процедур.

В I класс включены ОЭЗ ПС, размещаемые в Нижегородской области (ОЭЗ «Кулибин», 240 га).

Во II класс — ОЭЗ «Алга» (468 га; республика Башкортостан); ОЭЗ «Тольятти» (660 га; Самарская область).

В IV класс — ОЭЗ «Алабуга» (3903 га; республика Татарстан).



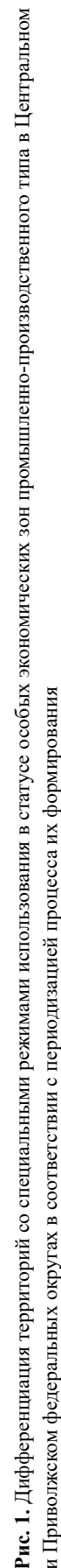


Fig. 1. Differentiation of areas having special modes of operation and the status of special economic zones (SEZ) in the Central and Volga Federal Districts pursuant the periodization of their formation

Табл. 1. Систематизация базовых условий формирования территорий особых экономических зон промышленно-производственного типа в региональных системах расселения Центрального, Северо-Западного и Южного федеральных округов Российской Федерации

Table 1. Systematization of basic conditions underlying the establishment of special economic zones of industrial and production type in the regional settlement systems of Central, North-western and Southern federal districts of the Russian Federation

Характеристики базовых условий региональных систем расселения Characteristics of the basic conditions of regional settlement systems									
Территории рассматриваемых субъектов федерации Territories of the subjects of the Federation under consideration		Территории рассматриваемых городских округов Territories of urban districts under consideration			Территории рассматриваемых муниципальных районов / муниципальных округов Territories of municipal districts/municipal areas under consideration			Территории функционирующих ОЭЗ ППТ Territories of free economic zones of industrial and production type	
S, %	N, %	P	S, %	N, %	P	S, %	N, %	P	S
Субъекты федерации и муниципальные образования Центрального федерального округа (ЦФО) Federal subjects and municipalities of the Central Federal District (CFD)									
Тульская область Tula region		Кол-во городских округов — 7 Number of urban districts — 7			Кол-во муниципальных районов — 19 Number of municipal districts — 19			ОЭЗ «Узловая» SEZ "Uzlovaya"	
25 689,0 100	1440,3 100	56,1	5082,0 19,8	859,1 59,7	169,1	20 607,0 80,2	581,2 40,3	28,2	4,7
Липецкая область Lipetsk region		Кол-во городских округов — 2 Number of urban districts — 2			Кол-во муниципальных районов — 18 Number of municipal districts — 18			ОЭЗ «Липецк» SEZ "Lipetsk"	
24 048,0 100	1144,1 100	47,8	401,0 1,7	612,6 53,6	1527,7	23 647,0 98,3	531,5 46,4	22,5	10,2
Владимирская область Vladimir region		Кол-во городских округов — 4 Number of urban districts — 4			Кол-во муниципальных районов — 16 Number of municipal districts — 16			ОЭЗ «Доброград-1» SEZ "Dobrograd-1"	
29 262,4 100	1324,8 100	46,5	565,4 1,9	676,1 51,0	1195,8	28 697,0 98,1	648,8 49,0	22,6	2,1
Воронежская область Voronezh region		Кол-во городских округов — 3 Number of urban districts — 3			Кол-во муниципальных районов — 31 Number of municipal districts — 31			ОЭЗ «Центр» SEZ "Centre"	
52 071,8 100	2323,8 100	44,6	2013,6 3,9	1142,2 49,2	567,2	50 058,2 96,1	1181,6 50,8	23,6	2,2

Окончание табл. 1 / End of the Table 1

Калужская область Kaluga region	Кол-во городских округов — 2 Number of city districts — 2			Кол-во муниципальных районов — 24 Number of municipal districts — 24			ОЭЗ «Калуга» SEZ “Kaluga”			
Характеристики базовых условий региональных систем расселения Characteristics of the basic conditions of regional settlement systems										
Территории рассматриваемых субъектов федерации Territories of the subjects of the Federation under consideration	Территории рассматриваемых городских округов Territories of the considered urban districts			Территории рассматриваемых муниципальных районов / муниципальных округов Territories of the considered municipal districts / municipal districts			Территории функционирующих ОЭЗ ППТ Territories of functioning SEZ IPT			
	S, %	N, %	P	S, %	N, %	P				
	29 793,5 100	1005,9 100	33,8	585,7 1,9	465,3 46,3	794,4	29 207,8 98,1	540,6 53,7	18,5	9,9 (6,3; 3,6)
Орловская область Orel region	Кол-во городских округов — 3 Number of urban districts — 3			Кол-во муниципальных районов — 24 Number of municipal districts — 24			ОЭЗ «Орел» SEZ “Orel”			
	25 671,8 100	724,7 100	28,2	176,5 0,7	386,9 53,4	2192,1	25 495,3 99,3	337,8 46,6	13,3	1,8
Субъекты федерации и муниципальные образования Северо-Западного федерального округа (С-ЗФО) Subjects of the Federation and municipalities of the North-Western Federal District (N-WFD)										
Псковская область Pskov region	Кол-во городских округов — 2 Number of urban districts — 2			Кол-во муниципальных районов — 24 Number of municipal districts — 24			ОЭЗ «Моглино» SEZ “Mogilino”			
	55 399,50 100	613,36 100	11,07	155,70 0,28	299,91 48,89	1926,21	55 243,80 99,72	313,45 51,11	5,67	4,2
Субъекты федерации и муниципальные образования Южного федерального округа (ЮФО) Federal subjects and municipalities of the Southern Federal District (SFD)										
Астраханская область Astrakhan region	Кол-во городских округов — 2 Number of urban districts — 2			Кол-во муниципальных районов — 11 Number of municipal districts — 11			ОЭЗ «Лотос» SEZ “Lotos”			
	49 024 100	997,78 100	20,35	217,70 0,44	550,73 55,19	2529,77	48 806,30 99,56	447,05 44,81	9,16	9,83

Примечание: S — площадь, км²; N — численность населения, тыс. чел.; P — плотность населения, тыс. чел./км²
Note: S — area, km²; N — population, thousand people; P — population density, thousand people/km²

Табл. 2. Систематизация базовых условий формирования территорий особых экономических зон промышленно-производственного типа в региональных системах расселения Приволжского федерального округа Российской Федерации

Table 2. Systematization of basic conditions underlying the establishment of special economic zones of industrial and production type (SEZ IPT) in the regional settlement systems of the Russian Federation

Характеристики базовых условий региональных систем расселения / Characteristics of basic conditions of regional settlement systems										
Территории рассматриваемых субъектов федерации Territories of the subjects of the Federation under consideration			Территории рассматриваемых субъектов федерации Territories of the subjects of the Federation under consideration			Территории рассматриваемых субъектов федерации Territories of the subjects of the Federation under consideration			Территории рассматриваемых субъектов федерации Territories of the subjects of the Federation under consideration	
S, %	N, %	P	S, %	N, %	P	S, %	N, %	P	S, %	S, %
Субъекты федерации и муниципальные образования Приволжского федерального округа (ПФО) Federal subjects and municipalities of the Volga Federal District (VFD)										
Самарская область Samara region			Кол-во городских округов — 10 Number of urban districts — 10			Кол-во муниципальных районов — 27 Number of municipal districts — 27			ОЭЗ «Тольятти» SEZ “Togliatti”	
53 565,0 100	3154,2 100	58,88	3561,2 6,6	2390,6 75,8	671,3	50 003,8 93,4	763,5 24,2	15,27	6,6	
Республика Татарстан Republic of Tatarstan			Кол-во городских округов — 2 Number of urban districts — 2			Кол-во муниципальных районов — 43 Number of municipal districts — 11			ОЭЗ «Алабуга» SEZ “Alabuga”	
67 837,4 100	3898,7 100	57,5	775,1 1,1	7185,9 45,8	2304,2	67 062,4 98,9	2112,9 54,2	31,5	39,0	
Нижегородская область Nizhny Novgorod region			Кол-во городских округов — 15 Number of urban districts — 15			Кол-во муниципальных районов — 26 муниципальных округов — 11 Number of municipal districts — 26 / 11			ОЭЗ «Кулибин» SEZ “Kulibin”	
76 523,4 100	3194,3 100	41,5	21 728,3 28,4	2137,9 66,9	98,4	36 534,3 47,7	532,8 16,7	14,6	2,3	
						18 260,9 23,9	523,5 16,4	28,8		
Республика Башкортостан Republic of Bashkortostan			Кол-во городских округов — 9 Number of urban districts — 9			Кол-во муниципальных районов — 54 Number of municipal districts — 54			ОЭЗ «Алга» SEZ “Alga”	
142 947,0 100	4013,8 100	28,1	1780,0 1,3	1944,0 48,4	1092,1	141 167,0 98,7	2921,6 51,6	20,7	4,7	

Примечание: S — площадь, км²; N — численность населения, тыс. чел.; P — плотность населения, тыс. чел./км²

Note: S — area, km²; N — population, thousand people; P — population density, thousand people/km²

Табл. 3. Экстремумы и средние значения показателей региональных систем расселения и их элементов в Центральном и Приволжском федеральных округах, в границах которых размещаются оцениваемые особые экономические зоны

Table 3. Extremes and average values of indicators of regional settlement systems and their elements in the Central and Volga Federal Districts, within the boundaries of which these special economic zones are located

Характеристики региональных систем расселения и их элементов Characteristics of regional settlement systems and their elements									
Экстремумы и средние значения Extremes and average values	территории оцениваемых субъектов РФ territories of the assessed subjects of the Russian Federation			территории оцениваемых городских округов territories of the assessed urban districts			территории оцениваемых муниципальных районов/ муниципальных округов territories of the assessed municipal districts/municipal districts		
	S	N	P	S	N	P	S	N	P
Характеристики субъектов ЦФО Characteristics of subjects of the Volga Federal District									
MAX	52 071,84	2323,81	56,10	1649,00	1039,80	2730,67	2731,55	104,73	147,00
MED	31 089,43	1327,27	42,69	420,20	197,25	469,42	1346,31	28,95	21,50
MIN	24 048,00	724,69	28,23	12,00	1,79	34,53	567,00	6,03	4,27
Характеристики субъектов ПФО Characteristics of Volga Federal District Subjects									
MAX	142 947,00	4013,79	58,88	3877,38	1263,65	3076,75	11 307,00	275,52	102,21
MED	85 218,21	3565,24	41,84	773,46	229,40	296,59	1944,28	42,57	21,89
MIN	53 565,00	3154,16	28,10	21,80	12,62	9,31	658,64	7,53	2,58

Табл. 4. Классификация территорий функционирующих особых экономических зон производственной специализации (ОЭЗ ПС) в региональных системах расселения Центрального и Приволжского федеральных округов (ПФО, ЦФО)

Table 4. Classification of territories of operating special economic zones of industrial and production type (SEZ IPT) in the regional settlement systems of the Central Federal District (CFD) and Volga Federal District (VFD))

Классы территорий ОЭЗ ПС Territory classes SEZ IS	Наименование федеральных округов Name of federal districts	Общие характеристики территорий ОЭЗ ПС: наименование, местоположение (регион), принадлежность к периоду создания, площадь, га General characteristics of FEZ territories: name, location (region), he period of establishment, area, ha
I 1–3 га / ha	ЦФО / CFD	ОЭЗ «Орел», Орловская обл.: 1 этап, 182 га / SEZ “Orel”, Oryol region: Stage 1, 182 ha; ОЭЗ «Доброград-1», Владимирская обл.: 1 этап, 210 га / SEZ “Dobrograd-1”, Vladimir region: Stage 1, 210 ha; ОЭЗ «Центр», Воронежская обл.: 3 этап, 220 га / SEZ “Centre”, Voronezh region: Stage 3, 220 ha
	ПФО / VFD	ОЭЗ «Кулибин»: 3 этап, 240 га / SEZ Kulibin: Stage 3, 240 ha
II 3–9 га / ha	ЦФО / CFD	ОЭЗ «Узловая», Тульская обл.: 2 этап, 470 га / SEZ “Uzlovaya”, Tula region: Stage 2, 470 ha; ОЭЗ «Калуга», Калужская обл.: 2 этап, 625 га, 369 га / SEZ “Kaluga”, Kaluga region: Stage 2, 625 ha, 369 ha
II 3–9 га / ha	ПФО / VFD	ОЭЗ «Алга», Республика Башкортостан: 3 этап, 468 га / SEZ “Alga”, Republic of Bashkortostan: Stage 3, 468 ha; ОЭЗ «Тольятти», Самарская обл.: городской округ Тольятти (до 2022 года — Ставропольский муниципальный район): 1 этап, 660 га / SEZ “Togliatti”, Samara region: Togliatti City District (until 2022 — Stavropol Municipal District): Stage 1, 660 ha

Классы территорий ОЭЗ ПС Territory classes SEZ IS	Наименование федеральных округов Name of federal districts	Общие характеристики территорий ОЭЗ ПС: наименование, местоположение (регион), принадлежность к периоду создания, площадь (га) General characteristics of the territories of the SEZ IS: name, location (region), belonging to the period of creation, area (ha)
III 9–27 га / ha	ЦФО / CFD	ОЭЗ «Липецк», Липецкая обл.: 1 этап, 1024 га / SEZ “Lipetsk”, Lipetsk region: Stage 1, 1,024 ha
	ПФО / VFD	—
IV Более 27 га / ha	ЦФО / CFD	—
	ПФО / VFD	ОЭЗ «Алабуга», Республика Татарстан: 1 этап, 3903 га / SEZ “Alabuga”, Republic of Tatarstan: Stage 1, 3,903 ha

ОЭЗ ПС, относящиеся к IV классу, отсутствуют в Центральном федеральном округе, а ОЭЗ ПС, относящиеся к III классу, — в Приволжском федеральном округе.

ОЭЗ ПС, расположенные в Северо-Западном и Южном федеральных округах, а именно ОЭЗ «Моглино» (420 га; Псковская область) и ОЭЗ «Лотос» (983 га; Астраханская область) относятся ко II и III классам соответственно.

Рассчитанные показатели экстремумов и средних значений выделенных показателей региональных систем расселения и их элементов — важный, но не единственный критерий оценки при определении существующего состояния региональных систем. Эти их новые свойства возникают вследствие взаимодействия региональных систем и ОЭЗ ПС.

Проведенное в рамках данной работы исследование развивает результаты, полученные ранее при обобщении современного отечественного опыта реализации проектов их формирования [3, 27]. Они позволяют пополнить перечень критериев, повышающих объективность проводимой оценки (табл. 5; рис. 3).

Для установления вариантных состояний региональных систем в качестве основных критериев приняты характеристики выборки объектов исследования муниципальных районов, в границах которых находятся экономические зоны производственной специализации (ОЭЗ ПС), их класс, площадь, численность населения и плотность населения. А в качестве вспомогательных — площадь ОЭЗ ПС, их удаленность как от административных центров субъектов РФ, так и от административных центров муниципальных районов.

Их использование применительно к задачам исследования повышает аргументацию выбора региональных систем для детального изучения. Таким образом, в качестве оцениваемых были отобраны: Липецкая, Тульская, Владимирская области в Центральном федеральном округе и республика Татарстан в Приволжском федеральном округе (рис. 2).

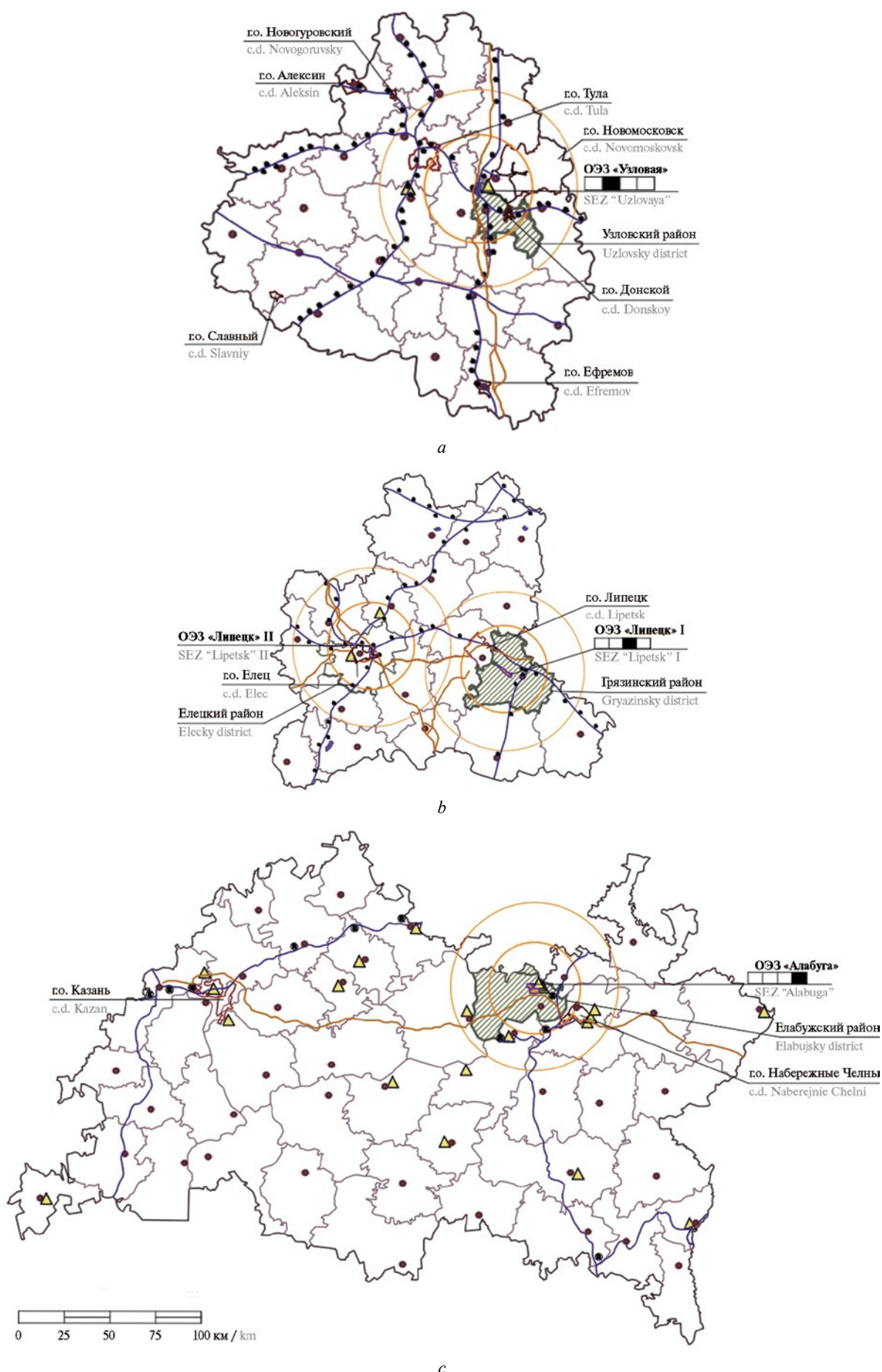
На основе сравнительной характеристики территорий особых экономических зон производствен-

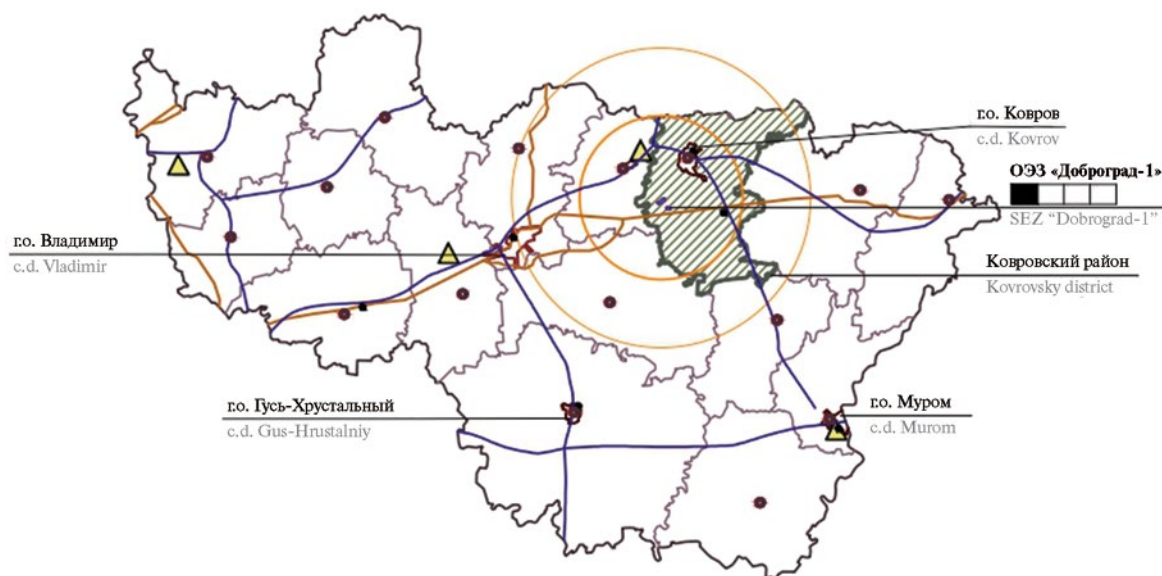
ной специализации (ОЭЗ ПС) и муниципальных образований в региональных системах расселения Липецкой, Тульской, Владимирской областей и республики Татарстан (табл. 5; рис. 3, 4) обоснованы следующие критерии:

- расширенные характеристики местоположения ОЭЗ ПС, в соотношении с другими региональными системами в составе федеральных округов;
- место ОЭЗ ПС в матрице периодизации этапов формирования;
- физические размеры территории;
- принципиальные схемы их развития;
- перспективы инфраструктурного обеспечения;
- удаленность от основных функционально-планировочных узлов, характеризующих специфику формирования системы внутрирегиональных и межрегиональных связей.

Руководствуясь указанными критериями, представляется возможным осуществить оценку региональных систем расселения. Выявлены следующие потенциальные возможности состояния региональных систем: *концентрация, турбулентность и разрежение процессов градостроительной деятельности*.

Одними из наиболее существенных научных и методологических результатов данной работы, по мнению авторов, являются: разработка принципиальных схем формирования контактно-стыковых зон (КСЗ) (рис. 4) и их картограмм муниципального и регионального уровней как формы взаимодействия региональных систем и ОЭЗ ПС на примере конкретных муниципальных образований Липецкой, Тульской, Владимирской областей и республики Татарстан (рис. 3); а также расчет параметров поясов КСЗ (табл. 6). КСЗ регионального уровня предложено использовать в качестве специальных градостроительных инструментов при разработке концепций и схем территориального планирования субъектов РФ, городских округов и муниципальных районов, а КСЗ муниципального уровня определять в составе генеральных планов, правил землепользования и застройки городских и сельских поселений, а также проектов планировки территории.





d












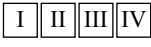
-  Границы субъектов РФ
Borders of subjects of RF
-  Границы административных центров субъектов РФ
Borders of administrative centers of the subjects of the RF
-  Границы городских округов
Borders of urban districts
-  Границы муниципальных районов
Boundaries of municipal districts
-  Автомобильные дороги федерального значения
Federal highways
-  Железные дороги
Public railway
-  Железнодорожные станции
Railway stations
-  Территории муниципальных районов, в границах которых размещены особые экономические зоны промышленно-производственного типа (ОЭЗ)
Territories of municipal districts within the boundaries of which special economic zones of industrial and production type are located
-  Административные центры муниципальных районов
Administrative centers of municipal districts
-  Территории особых экономических зон промышленно-производственного типа (ОЭЗ ППТ)
Territories of special economic zones of industrial production type (SEZ IPT3)
-  Индустриальные парки (ИП)
Industrial parks (IP)
-  Классы территорий особых экономических зон промышленно-производственного типа
Classes of territories of special economic zones of industrial production type

Рис. 2. Графическая интерпретация результатов оценки существующего состояния региональных систем расселения: *a* — Тульской области; *b* — Липецкой области; *c* — республики Татарстан; *d* — Владимирской области

Fig. 2. Graphic interpretation of estimation results of the current state of regional settlement systems: *a* — Tula region; *b* — Lipetsk region; *c* — the Republic of Tatarstan and *d* — Vladimir region

Табл. 5. Результаты сравнительной оценки территорий производственной специализации и муниципальных образований в региональных системах расселения Тульской области, Липецкой области, республики Татарстан и Владимирской области

Table 5. Comparative characteristics of the territories of special economic zones of industrial specialization (FEZ IS) and municipalities in the regional settlement systems of the Tula region, the Lipetsk region, the Republic of Tatarstan and the Vladimir region

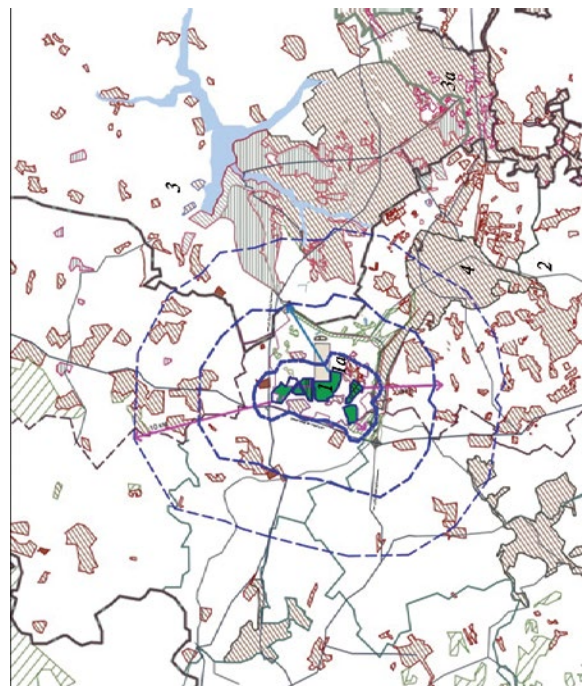
Наименование федеральных округов Name of federal districts	Характеристики выборки объектов исследования — муниципальных районов*, в границах которых размещаются особые экономические зоны производственной специализации (ОЭЗ ПС) Sampling characteristics of research objects: municipal districts* within which special economic zones are located			Характеристики территорий ОЭЗ ПС, размещаемые в оцениваемых муниципальных районах* Characteristics of the territories of SEZ IS located in the estimated municipal districts*				Вариантные состояния региональных систем Variant states of regional systems
	S	N	P	Классы территорий ОЭЗ ПС Territory classes SEZ IS	Площадь ОЭЗ ПС, км ² SEZ IS area, km ²	Удаленность ОЭЗ ПС (1) Remoteness of the SEZ IPT (1)	Удаленность ОЭЗ ПС (2) Remoteness of the SEZ IS (2)	
ЦФО CFD	ОЭЗ «Узловая», Узловский муниципальный район, Тульская область SEZ “Uzlovaya”, Uzlovsky municipal district, Tula region							Концентрация процессов градостроительной деятельности Concentration of urban planning processes
	631,25	MAX 77,48	MAX 122,74	II	4,71	33,1	10,31	
ЦФО CFD	ОЭЗ «Липецк», Грязинский муниципальный район, Липецкая область SEZ “Lipetsk”, Gryazinsky municipal district, Lipetsk region							Концентрация процессов градостроительной деятельности Concentration of urban planning processes
	1440,00	MAX 79,33	MED 55,10	III	10,24	17,9	10,9	
ПФО VFD	ОЭЗ «Алабуга», Елабужский район, Республика Татарстан SEZ “Alabuga”, Yelabuga district, Republic of Tatarstan							Концентрация процессов градостроительной деятельности Concentration of urban planning processes
	1404,41	MED 85,60	MAX 61,60	IV	39,03	185	8,83	
ЦФО CFD	ОЭЗ «Доброград-1», Ковровский муниципальный район, Владимирская область SEZ “Dobrograd-1”, Kovrovskiy municipal district, Vladimir region							Турбулентность процессов градостроительной деятельности Turbulence of urban planning processes
	1817,00	MED 30,40	MED 16,73	I	2,10	48,8	17,9	

(1) — удаленность ОЭЗ ППТ от административных центров субъектов РФ, км;

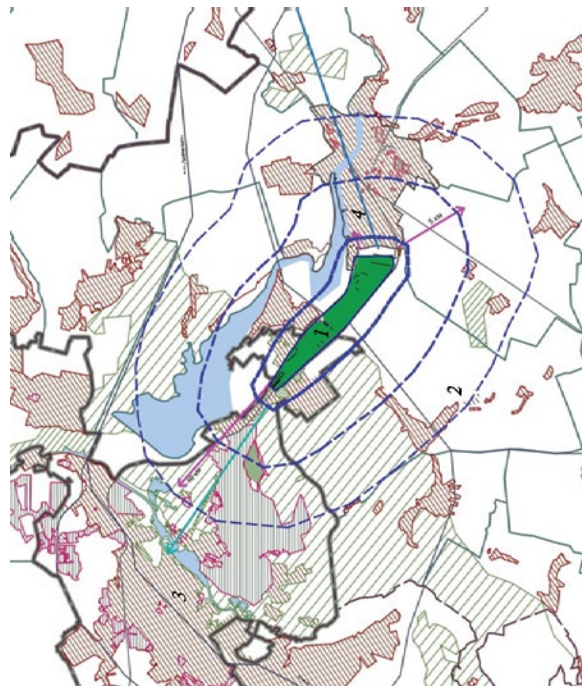
(2) — удаленность ОЭЗ ППТ от административных центров муниципальных районов*, км

(1) — the distance of the SEZ IPT from the administrative centers of the subjects of the Russian Federation, km;

(2) — the distance of the SEZ IPT from the administrative centers of the municipal districts*, km



1 — ОЭЗ «Узловая» / SEZ “Uzlovaya”; 1a — ИП «Узловая» / IP “Uzlovaya”; 2 — Каменецкое с.п.; Узловский м.р. / Каменецкое r.s.; Uzlovsky m.d.; 3 — г.о. Новомосковский / c.d. Novomoskovsk; 3a — г.о. Донской / c.d. Donskoi; 4 — г.п. Узловая / u.s. Uzlovaya



1 — ОЭЗ «Липецк» / SEZ “Lipetsk”; 2 — Казинское с.п.; Грязинский м.р. / Kazinskoe r.s.; Gryazinsky m.d.; 3 — г.о. Липецк / c.d. Lipetsk; 4 — г.п. Грязи / u.s. Gryazi

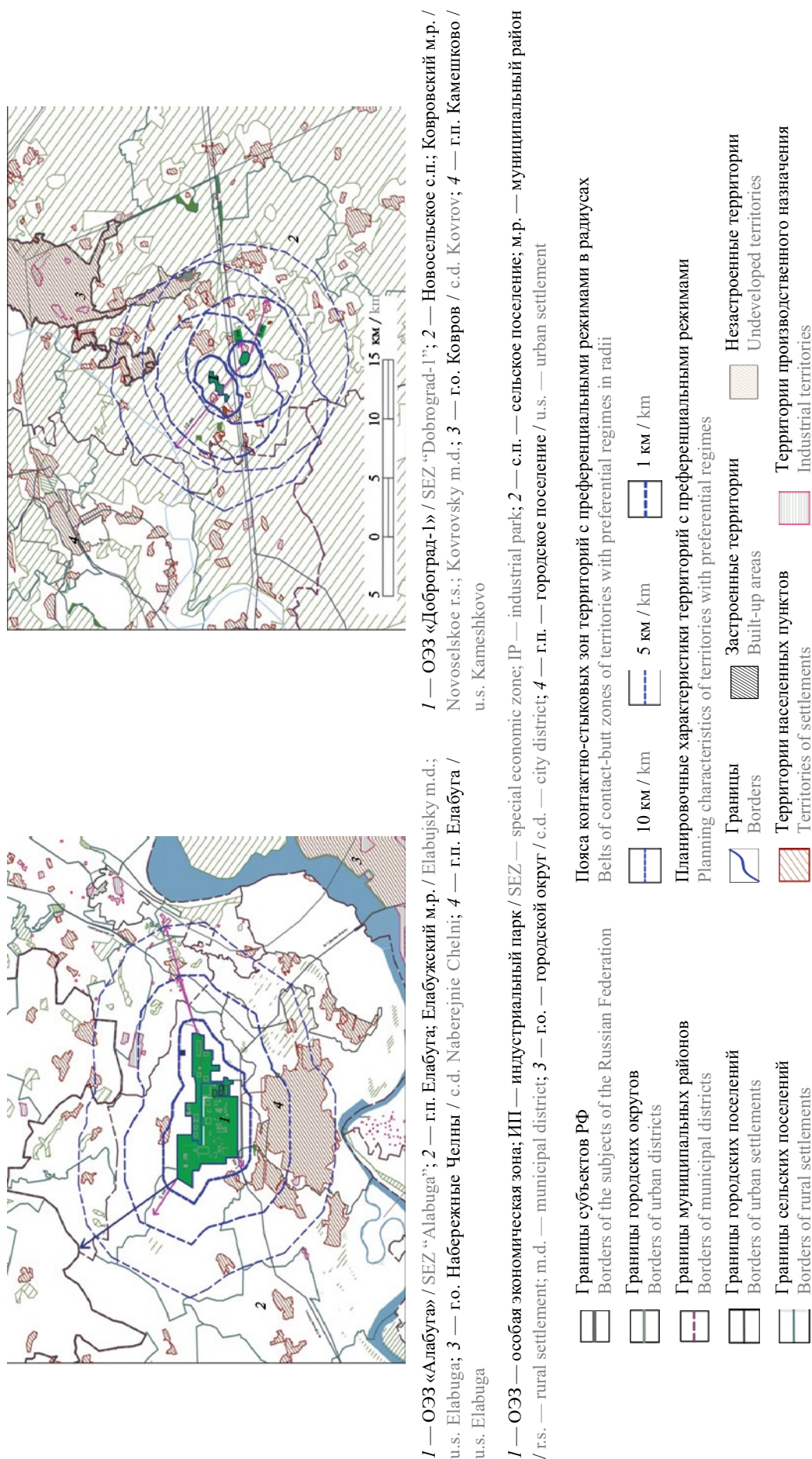


Рис. 3. Картограммы поясов контактно-стыковых зон муниципального уровня, образуемых территориями производственной специализации в региональных системах расселения Тульской области, Липецкой области, Республики Татарстан и Владимирской области

Fig. 3. Cartograms of belts of contact zones at the municipal level, formed by territories of industrial specialization (SEZ IS) in the regional settlement systems of the Tula region, the Lipetsk region, the Republic of Tatarstan and the Vladimir region

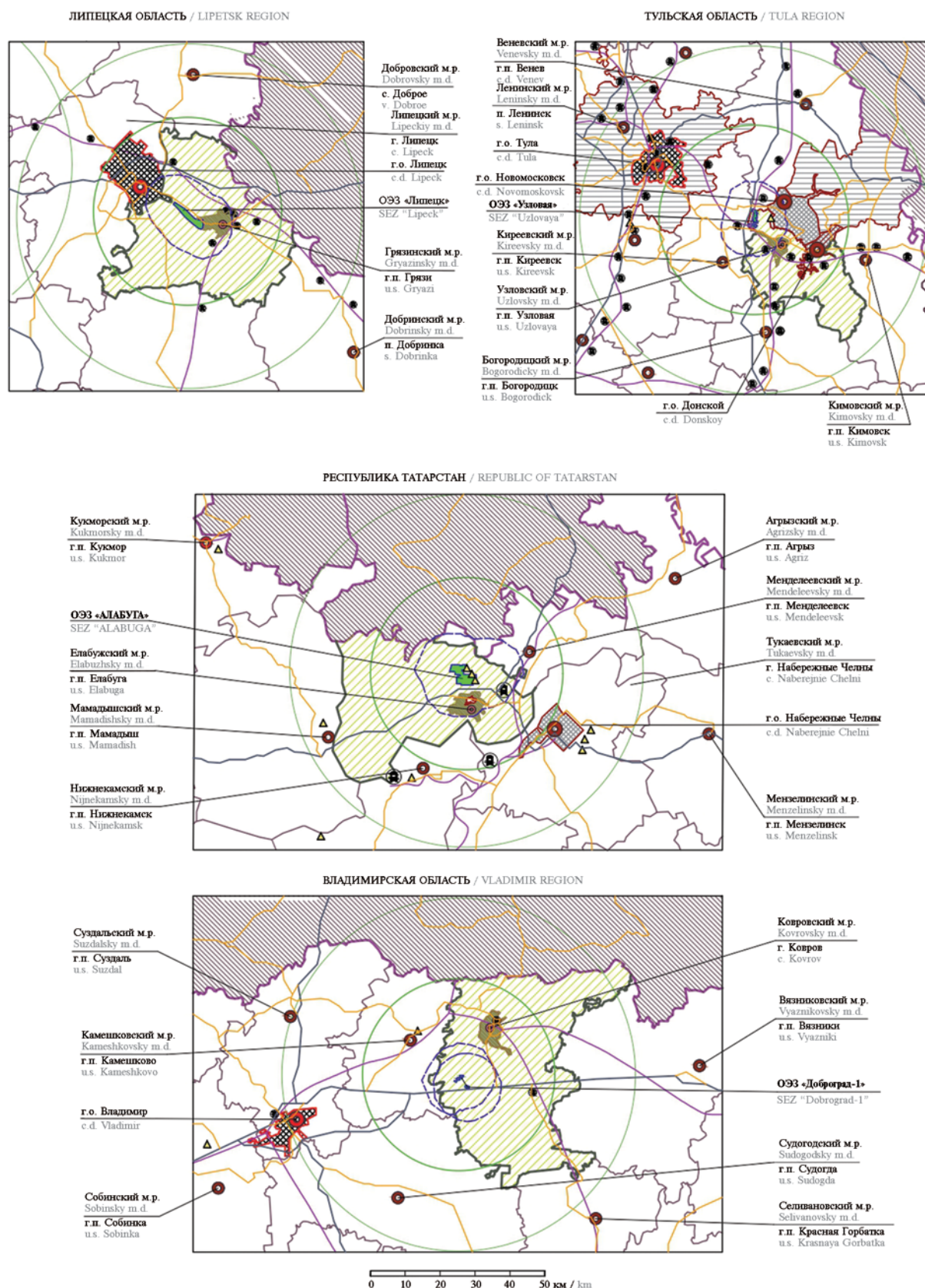


Рис. 4. Принципиальные схемы формирования контактно-стыковых зон муниципального и регионального уровней в региональных системах расселения Липецкой области, Тульской области, Республики Татарстан и Владимирской области

Fig. 4. Conceptual diagrams of contact zones of municipal and regional levels in the regional settlement systems of the Lipetsk region, the Tula region, the Republic of Tatarstan and the Vladimir region

Условные обозначения к рис. 4.

Границы / The borders	Автомобильные дороги / Highways
субъектов РФ subjects of the Russian Federation	Федерального значения Federal significance
административных центров субъектов РФ administrative centers of the subjects of the Russian Federation	Регионального значения Regional significance
городских округов urban districts	Железнодорожный путь общего пользования Public railway track
муниципальных районов municipal districts	Железнодорожные станции Railway stations
Административные центры / Administrative centers	
Городских округов / Urban districts	Муниципальных районов / Municipal districts
Пояса контактно-стыковых зон территорий с преференциальными режимами в радиусах Belts of contact-butt zones of territories with preferential regimes in radii	
10 км / km	25 км / km
50 км / km	
Индустриальные парки / Industrial parks	
Территории ОЭЗ ПС / Territories SEZ IPT	
Территории муниципальных районов, в границах которых расположены ОЭЗ ППТ Territories of municipal districts within the boundaries of which they are located SEZ IPT	

Табл. 6. Параметры поясов контактно-стыковых зон муниципального и регионального уровней региональных систем Липецкой области, Тульской области, Республики Татарстан, Владимирской области

Table 6. Parameters of the belts of contact zones of municipal and regional levels of regional systems of the Lipetsk region, the Tula region, the Republic of Tatarstan, the Vladimir region

Виды функционально-пространственных связей ОЭЗ ППТ с элементами региональных систем расселения Types of functional-spatial links of the SEZ PPT with elements of regional settlement systems				
Пояса КСЗ Belts of contact-butt zones	ОЭЗ — административные центры субъектов РФ (АЦ РФ), км SEZ — administrative centers of the constituent entities of the Russian Federation (AC RF), km	ОЭЗ — административные центры городских округов (АЦ ГО), км SEZ — administrative centers of urban districts (AC UD), km	ОЭЗ — административные центры муниципальных районов (АЦ МР), км SEZ — administrative centers of municipal districts (AC MD), km	ОЭЗ — индустриальные парки (ИП), км SEZ — industrial parks (IP), km
	Удаленность, км / Distance, km			
ОЭЗ «Липецк», Грязинский муниципальный район, Липецкая область SEZ “Lipetsk”, Gryazinsky municipal district, Lipetsk region				
Размерные характеристики поясов КСЗ / Dimensional characteristics of the chords of the contact- butt zones или Dimensional characteristics of the chords of the CBZ	Липецк — 17,2 км (509 420 чел.) Lipetsk — 17.2 km (509,420 people)	Елец — 89,1 км (103 177 чел.) Yelets — 89.1 km (103,177 people)	Всего 18 м.р. Total 18 municipal districts м.р. Грязинский — 10,1 км (79 333 чел.) m.d. Gryazinsky — 10.1 km (79,333 people)	—
10 км / km	—	—	79 333 чел. / people	79 333 чел. / people
25 км / km	509 420 чел. / people	—	79 333/79 333 чел. / people	588 753/79 333 чел. / people

Виды функционально-пространственных связей ОЭЗ ППТ с элементами региональных систем расселения Types of functional-spatial links of the SEZ PPT with elements of regional settlement systems				
Пояса КСЗ Belts of contact-butt zones	ОЭЗ — административные центры субъектов РФ (АЦ РФ), км SEZ — administrative centers of the constituent entities of the Russian Federation (AC RF), км	ОЭЗ — административные центры городских округов (АЦ ГО), км SEZ — administrative centers of urban districts (AC UD), км	ОЭЗ — административные центры муниципальных районов (АЦ МР), км SEZ — administrative centers of municipal districts (AC MD), км	ОЭЗ — индустриальные парки (ИП), км SEZ — industrial parks (IP), км
	Удаленность, км / Distance, км			
ОЭЗ «Узловая», Узловский муниципальный район, Тульская область SEZ “Uzlovaya”, Uzlovsky municipal district, Tula region				
Размерные характеристики поясов КСЗ / Dimensional characteristics of the chords of the contact- butt zones или Dimensional characteristics of the chords of the CBZ	Тула — 33,2 км (535 707 чел.) Tula — 33.2 км (535,707 people)	Новомосковск — 15,6 км (133 021 чел.) Novomoskovsk — 15.6 км (133,021 people) Донской — 19,7 км (61 477 чел.) Donskoy — 19.7 км (61,477 people)	Всего 19 м.р. Total 19 municipal districts м.р. Узловский — 10,31 км (77 479 чел.) m.d. Uzlovsky — 10.31 км (77,479 people) м.р. Киреевский: 15,4 км (71 774 чел.) m.d. Kireevsky — 15.4 км (71,774 people)	«Узловая» — 1,48 км “Uzlovaya” — 1.48 км
10 км / km	—	—	77 479 чел. / people	77 479 чел. / people
25 км / km	—	194 498/194 498 чел. / people	149 253/71 774 чел. / people	343 751/266 272 чел. / people
ОЭЗ «Алабуга», Елабужский район, Республика Татарстан SEZ “Alabuga”, Yelabuga district, Republic of Tatarstan				
Размерные характеристики поясов КСЗ / Dimensional characteristics of the chords of the contact-butt zones или Dimensional characteristics of the chords of the CBZ	Казань — 183 км (1 251 969 чел.) Kazan — 183 км (1,251,969 people)	Набережные Челны — 24,7 км (533 907 чел.) Naberezhnye Chelny — 24.7 км (533,907 people)	Всего — 43 м.р. Total 43 municipal districts м.р.Елабужский — 8,83 км (85 596 чел.) m.d. Yelabuga — 8.83 км (85,596 people) м.р. Менделеевский — 18,2 км (30 264 чел.) m.d. Mendelevsky — 18.2 км (30,264 people) м.р. Тукаевский — 24,7 км (41 348 чел.) m.d. Tukaevsky — 24.7 км (41,348 people) м.р. Нижнекамский — 26,2 км (275 520 чел.) m.d. Nizhnekamsk — 26.2 км (275,520 people)	«Синегерия» — 0,8 км “Synergy” — 0.8 км «Синегерия-2» — 1,1 км “Synergy-2” — 0.8 км «А Плюс Парк Алабуга» — 2,77 км “A Plus Park Alabuga” — 2.77 км «Развитие» — 24,6 км “Razvitie” — 24.6 км
10 км / km	—	—	85 596 чел. / people	85 596 чел. / people
25 км / km	—	533 907/533 907 чел. / people	157 208 /71 612 чел. / people	691 115 /71 612 чел. / people

Окончание табл. 6 / End of the Table 6

Виды функционально-пространственных связей ОЭЗ ППТ с элементами региональных систем расселения Types of functional-spatial links of the SEZ PPT with elements of regional settlement systems				
Пояса КСЗ Belts of contact-butt zones	ОЭЗ — административные центры субъектов РФ (АЦ РФ), км SEZ — administrative centers of the constituent entities of the Russian Federation (AC RF), km	ОЭЗ — административные центры городских округов (АЦ ГО), км SEZ — administrative centers of urban districts (AC UD), km	ОЭЗ — административные центры муниципальных районов (АЦ МР), км SEZ — administrative centers of municipal districts (AC MD), km	ОЭЗ — индустриальные парки (ИП), км SEZ — industrial parks (IP), km
	Удаленность, км / Distance, km			
ОЭЗ «Доброград-1», Ковровский муниципальный район, Владимирская область SEZ “Dobrograd-1”, Kovrovskiy municipal district, Vladimir region				
Размерные характеристики поясов КСЗ / Dimensional characteristics of the chords of the contact- butt zones или Dimensional characteristics of the chords of the CBZ	Владимир — 8,4 км (354 752 чел.) Vladimir — 8.4 km (354,752 people)	Ковров — 17,2 км (134 074 чел.) Kovrov — 17.2 km (134,074 people)	Всего — 16 м.р. Total 16 municipal districts м.р.Ковровский — 17,9 км (30 396 чел.) m.d.Kovrovsky — 17.9 km (30,396 people) м.р. Камешковский — 17,9 км (27 844 чел.) m.d. Kameshkovsky — 17.9 km (27,844 people)	«Камешково» — 2,5 км “Kameshkov” — 2.5 km
10 км / km	—	—	—	—
25 км / km	—	134 074/134 074 чел. / people	58 240 чел. / people	192 314/134 074 чел. / people

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Распространение в течение последних 10–15 лет практики формирования территорий с преференциальными режимами осуществления хозяйственной деятельности обусловлено потребностью регионов Российской Федерации в поиске новых ресурсов и источников развития. Ей способствуют качественные изменения социально-экономических условий и активное развитие системы законодательного и нормативно-правового обеспечения градостроительной и инвестиционно-строительной деятельности. Стимулирование появления «точек роста» связано с их способностью становиться катализаторами перспективного пространственного развития регионов. Частными случаями территорий с преференциальными режимами являются особые экономические зоны производственной специализации (ОЭЗ ПС).

Применение оперативного анализа для решения задач исследования позволило выделить в новейшей российской практике формирования территорий ОЭЗ ПС четыре основных этапа, различающихся внешними условиями создания и внутренними факторами

развития. Охарактеризованы процессы их пространственного размещения на территории Российской Федерации. Установлена неравномерность (поляризация) пространственных схем в границах Центрального (ЦФО), Приволжского (ПФО), Северо-Западного и Южного федеральных округов. В ЦФО и ПФО процессы градостроительного освоения таких территорий наиболее активны. Аналогичная неравномерность размещения территорий ОЭЗ ПС отмечается в регионах, входящих в их состав. Анализ показывает, что пространственные схемы их размещения формируются на основе сочетания центробежных и центростремительных принципов. Как результат периодизации процесса формирования территорий ОЭЗ ПС представлена их дифференциация, позволяющая выделить планировочные характеристики их взаимодействия с региональными системами.

Для установления зависимостей между текущим состоянием региональных систем расселения в связи с формированием ОЭЗ ПС, их функционированием в краткосрочном периоде и перспективным развитием был применен анализ причинно-следственных

связей. На основе анализа был выделен единый для всех региональных ситуаций комплекс базовых условий их формирования, включающий показатели площади территории, количества и плотности населения. Обобщение полученных значений этих показателей позволило выделить стандартные и особенные варианты структурирования региональных систем. Они различаются удельным весом территорий городских округов в их границах по отношению к удельному весу муниципальных районов (округов). Экстремумы и средние значения этих показателей, полученные путем расчета, не только обеспечивают сравнительную оценку систем в целом и их элементов, но и позволяют определять прогнозируемые параметры ОЭЗ ПС. Выделены четыре основных класса ОЭЗ ПС. Они сформированы с учетом последовательности процесса градостроительной организации таких территорий, особенностей их местоположения в региональных системах расселения, принадлежности к этапу создания, сложившегося характера функционально-пространственных связей, потенциала развития, различных планировочных характеристик. Выявлено наименьшее распространение территорий ОЭЗ ПС третьего и четвертого класса, что объясняется продолжительностью соответствующих этапов жизненного цикла их освоения и застройки.

На основе совокупности результатов проведенного анализа выделены новые свойства и характеристики региональных систем расселения с учетом влияния ОЭЗ ПС, используемые для диагностирования их существующего состояния. Установлены три возможные варианты состояния региональных систем: концентрация, разрежение, турбулентность,

описываемые с помощью принципиальных планировочных схем.

Полученные оценки состояний региональных систем позволяют доказательно определять потенциально возможные направления градостроительного вмешательства. Их степень и компонентный состав уточняются посредством построения изохрон влияния ОЭЗ ПС на их существующую поселенческую организацию. Для этого применяется метод системно-структурного анализа. Он позволяет выделить необходимые условия взаимодействия региональных систем с ОЭЗ ПС — приоритетные планировочные узлы: административные центры субъектов РФ (АЦ РФ), административные центры городских округов (АЦ ГО) ОЭЗ, административные центры муниципальных районов (АЦ МР), а также достаточные условия: территории производственной специализации.

Расчетные параметры поясов контактно-стыковых зон, полученные в рамках эксперимента, показывают возможности планирования различных вариантов сочетаний качественных и количественных характеристик в зависимости от градостроительной специфики организации территории. Среди них выделяется закономерность повышения потенциала многофункциональности региональных систем расселения по мере расширения диаметров поясов КСЗ, увеличения частоты и интенсивности взаимодействия ОЭЗ ПС с элементами системы. На этой методологической основе предлагается разрабатывать персонифицированный комплекс градостроительных мероприятий в региональных системах, отличающихся формированием ОЭЗ ПС.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Украинский В.Н. Формирование систем регионального развития: зарубежный опыт // Регионалистика. 2018. Т. 5. № 1. С. 31–40. DOI: 10.14530/reg.2018.1.31
2. Кабанов В.Н., Донцов Д.Г., Юшкова Н.Г., Михайлова Е.В. Пространственно-стратегическое развитие территории. Волгоград: Волгогр. гос. аграр. ун-т., 2018. 276 с.
3. Yushkova N.G. Local urban-planning formations as a foundation for reorganizing regional systems of settlement: prerequisites for developing the methodology // Russian Journal of Building Construction and Architecture. 2020. Issue 3 (47). Pp. 76–90. DOI: 10.36622/vstu.2020.47.3.007
4. Мутягин С.Д. Градостроительная база устойчивого развития урбанизированных территорий // Градостроительство. 2016. № 2 (42). С. 72–75.
5. Юшкова Н.Г. Особенности градостроительного развития территорий города с учетом инвестиционного фактора : дис. ... канд. архитектуры. М., 1999. 190 с.
6. Теличенко В.И., Щербина Е.В. Социально-природно-техногенная система устойчивой среды жизнедеятельности // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 6. С. 5–12. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.06.5-12
7. Бакаева Н.В., Чайковская Л.В., Кормина А.А. Градоустройство как комплексная деятельность по созданию социально-ориентированной городской среды // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2019. № 1 (25). С. 94–107. DOI: 10.21869/23-11-1518-2019-25-1-94-106
8. Dontsov D.G., Yushkova N.G. Principles of sustainable development of the territory and priorities of architectural and urban construction activity // AIP Conference Proceedings. 2017. DOI: 10.1063/1.4973071
9. Jabareen Y.R. Sustainable Urban Forms // Journal of Planning Education and Research. 2006. Vol. 26. Issue 1. Pp. 38–52. DOI: 10.1177/0739456x05285119

10. *Telichenko V.I., Benuzh A.A.* Evaluation of Russia's innovation activity levels in construction // *Civil Engineering and Urban Planning IV*. 2016. Pp. 677–680. DOI: 10.1201/b19880-128
11. *Ильичев В.А., Колчунов В.И., Бакаева Н.В., Черняева И.В.* Количественная оценка доступности объектов инфраструктуры при реализации функций биосферосовместимого города // *Строительство и реконструкция*. 2017. № 2 (70). С. 85–94.
12. *Kamrowska-Zaluska D., Obracht-Prondzyńska H.* Urban regeneration in urban functional areas in Poland as an instrument of implementation of the EU Cohesion Policy // *Growth and Change*. 2020. Vol. 51. Issue 1. Pp. 278–301. DOI: 10.1111/grow.12361
13. *Щербина Е.В., Горбенкова Е.В.* Современные подходы градостроительного проектирования сельских поселений и малых городов // *Биосферная совместимость: человек, регион, технологии*. 2018. № 4 (24). С. 105–116.
14. *Перькова М.В., Большаков А.Г.* Теоретическая модель развития региональной системы расселения // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2017. № 1. С. 105–111. DOI: 10.12737/240931
15. *Есаулов Г.В.* Об идентичности в архитектуре и градостроительстве // *Academia. Архитектура и строительство*. 2018. № 4. С. 12–18. DOI: 10.22337/2077-9038-2018-4-12-18
16. *Shubnikov M.V., Mityagin S.D., Gaevskaya Z.A.* The sixth technological revolution in construction industry: Noospheric paths // *Advances in Energy and Environment Research*. 2017. Pp. 129–134. DOI: 10.1201/9781315212876-27
17. *Kolyasnikov V.A.* Strategy of spatial development in urban planning Russia // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 962. P. 032033. DOI: 10.1088/1757-899X/962/3/032033
18. *Shcherbina E., Gorbenkova E.* Smart city technologies for sustainable rural development // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 365. P. 022039. DOI: 10.1088/1757-899X/365/2/022039
19. *Moulaert F., Sekia F.* Territorial innovation models: a critical survey // *Regional Studies*. 2003. Issue 37 (3). Pp. 289–302. DOI: 10.1080/0034340032000065442
20. *Юшкова Н.Г.* Проблемы адаптивности планирования развития региональных социально-экономических систем // XII Всерос. совещание по проблемам управления ВСПУ–2014, Москва 16–19 июня 2014 г. : сб. тр. конф. 2014. С. 5579–5592.
21. *Юшкова Н.Г.* Потенциал пространственной системы региона в определении инновационной стратегии развития территории (на примере Волгоградской области) // *Регионы России: стратегии и механизмы модернизации, инновационного и технологического развития* : тр. Восьмой Междунар. науч.-практ. конф. 2012. С. 400–405.
22. *Данилина Н.В.* Городское стратегическое планирование системы перехватывающих стоянок // *Вестник МГСУ*. 2018. Т. 13. № 2. С. 190–195. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.2.190-195
23. *Danilina N., Vlasov D.* Development of “Park-and-Ride” system as a tool for sustainable access control managing // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2017. Vol. 90. P. 012214. DOI: 10.1088/1755-1315/90/1/012214
24. *Горбенкова Е.В.* Особенности трансформации сельского расселения Беларуси // *Вестник МГСУ*. 2020. Т. 15. № 5. С. 729–745. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.5.729-745
25. *Алексеев Ю.В., Перекопская М.А.* Подход к оценке территорий с развитым лесопромышленным комплексом (на примере Архангельской области) // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2020. № 2. С. 62–71. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-2-62-71
26. *Алексеев Ю.В.* Подход к оценке эволюции научных проблем в системе управления градостроительной деятельностью // *Архитектура и Строительство России*. 2019. № 4 (232). С. 16–21.
27. *Юшкова Н.Г., Алексеев Ю.В.* Локальные изменения региональных систем расселения: условия возникновения, особенности, тенденции // *Вестник МГСУ*. 2021. Т. 16. № 9. С. 1152–1167. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.9.1152-1167
28. *Швецов А.Н., Демьяненко А.Н., Украинский В.Н.* Деструктивные стереотипы российского стратегического планирования и их возможные последствия для практики регионального стратегирования (часть 1) // *Регионалистика*. 2016. Т. 3. № 3. С. 48–60. DOI: 10.14530/reg.2016.6
29. *Ильичев В.А., Колчунов В.И., Бакаева Н.В.* Принципы стратегического планирования развития территорий (на примере федеральной земли Бавария) // *Вестник МГСУ*. 2019. Т. 14. № 2. С. 158–168. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.2.158-168
30. *Перекопская М.А., Алексеев Ю.В.* Планирование поселений в лесопромышленных районах (на примере Архангельской области) // *Вестник МГСУ*. 2021. Т. 16. № 9. С. 1124–1135. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.9.1124-1135
31. *Перекопская М.А.* Роль территориального планирования в организации поселений лесопромышленного района // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2022. № 2. С. 55–64. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-55-64
32. *Алексеев Ю.В., Самойлова Н.А.* Подход к организации градостроительного планирования территории угольного бассейна // *Архитектура и строительство России*. 2015. № 8. С. 30–39.
33. *Yenin A.E., Liventceva A.V.* System approach in urban planning. History. General foundations // *Russian journal of building construction and architecture*. 2017. Issue 1 (33). Pp. 91–101.
34. *Wang J.* The economic impact of Special Economic Zones: Evidence from Chinese municipalities //

Journal of Development Economics. 2013. Vol. 101. Pp. 133–147. DOI: 10.1016/j.jdeveco.2012.10.009

35. Graboviy P. Reconstruction and modernization of industrial parks // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 91. P. 08028. DOI: 10.1051/e3sconf/20199108028

36. Leonov S.N. Preferential regimes of established local growth points and its impact on the economy of the Far East // Economic and Social Changes: Facts,

Trends, Forecast. 2020. Vol. 13. Issue 3. Pp. 28–45. DOI: 10.15838/esc.2020.3.69.3

37. Yushkova N.G., Gushchina E.G., Dontsov D.G., Fikhtner O.A. Spatial development dichotomy: assessment of the potential and implementation of territorial systems // The European Proceedings of Social and Behavioural Sciences. 2019. DOI: 10.15405/epsbs.2019.12.05.97

Поступила в редакцию 17 июня 2022 г.

Принята в доработанном виде 5 июля 2022 г.

Одобрена для публикации 5 июля 2022 г.

ОБ АВТОРАХ: **Наталья Геннадиевна Юшкова** — кандидат архитектуры, доцент, советник РААСН, докторант кафедры градостроительства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ);** 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; доцент кафедры экологического строительства и городского хозяйства; **Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ);** 400005, г. Волгоград, пр-т Ленина, д. 28; РИНЦ ID: 513635, Scopus: 57193128174, ResearcherID: AAR-1414-2021, ORCID: 0000-0001-8845-9585; ng_yushkova-v@mail.ru;

Дарья Николаевна Никифорова — главный специалист мастерской градостроительного проектирования; **Волгоградское областное архитектурно-планировочное бюро (ВО АПБ);** 400066, г. Волгоград, ул. Мира, д. 19а; магистрант; **Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ);** 400005, г. Волгоград, пр-т Ленина, д. 28; РИНЦ ID: 1113275; nikiforova-dasha-98@mail.ru.

Вклад авторов:

Юшкова Н.Г. — концепция исследования и его структура, развитие методологии, разработка графических схем, формулировка условий проведения эксперимента и оценка результатов его реализации, обработка и систематизация материала, написание текста, итоговых выводов.

Никифорова Д.Н. — сбор исходных данных, участие в разработке и проведении эксперимента, описание его результатов, разработка графических схем и таблиц.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Ukrainsky V.N. Formation of Regional Development Systems: Foreign Experience. *Regionalistics*. 2018; 5(1):31–40. DOI: 10.14530/reg.2018.1.31 (rus.).
2. Kabanov V.N., Dontsov D.G., Yushkova N.G., Mikhailova E.V. *Spatial and strategic development of the territory*. Volgograd, Volgograd State Agrarian University, 2018; 276. (rus.).
3. Yushkova N.G. Local urban-planning formations as a foundation for reorganizing regional systems of settlement: prerequisites for developing the methodology. *Russian Journal of Building Construction and Architecture*. 2020; 3(47):76–90. DOI: 10.36622/vstu.2020.47.3.007
4. Mityagin S.D. Urban planning base for sustainable development of urban areas. *Urban planning*. 2016; 2(42):72–75. (rus.).
5. Yushkova N.G. *Features of urban development of city territories, taking into account the investment factor: The dissertation for the degree of candidate of architecture in special*. Moscow, 1999; 190. (rus.).
6. Telichenko V.I., Shcherbina E.V. Social-Natural-Technogenic System of Sustainable Environment of Vital Activity. *Industrial and Civil Engineering*. 2019; 6:5–12. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.06.5–12 (rus.).
7. Bakaeva N.V., Chaikovskaya L.V., Kormina A.A. Urban planning as a complex activity to create a socially oriented urban environment. *Biospheric Compatibility: Man, Region, Technology*. 2019; 1(25):94–107. DOI: 10.21869/23-11-1518-2019-25-1-94-106 (rus.).
8. Dontsov D.G., Yushkova N.G. Principles of sustainable development of the territory and priorities of architectural and urban construction activity. *AIP Conference Proceedings*. 2017. DOI: 10.1063/1.4973071
9. Jabareen Y.R. Sustainable Urban Forms. *Journal of Planning Education and Research*. 2006; 26(1):38–52. DOI: 10.1177/0739456x05285119
10. Telichenko V.I., Benuzh A.A. Evaluation of Russia's innovation activity levels in construction. *Civil Engineering and Urban Planning IV*. 2016; 677–680. DOI: 10.1201/b19880-128

11. Il'ichev V.A., Kolchunov V.I., Bakaeva N.V., Chernjaeva I.V. Quantitative assessment of the availability of infrastructure for implementing features bio-sphere compatible city. *Building and Reconstruction*. 2017; 2(70):85-94. (rus.).
12. Kamrowska-Zaluska D., Obracht-Prondzyńska H. Urban regeneration in urban functional areas in Poland as an instrument of implementation of the EU Cohesion Policy. *Growth and Change*. 2020; 51(1):278-301. DOI: 10.1111/grow.12361
13. Shcherbina E.V., Gorbenkova E.V. Modern approaches to urban planning design of rural settlements and small towns. *Biospheric Compatibility: Man, Region, Technology*. 2018; 4(24):105-116. (rus.).
14. Perkova M.V., Bolshakov A.G. Theoretical model of regional development settlement system. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2017; 1:105-111. DOI: 10.12737/240931 (rus.).
15. Esaulov G.V. On identity in architecture and urban planning. *Academia. Architecture and Construction*. 2018; 4:12-18. DOI: 10.22337/2077-9038-2018-4-12-18 (rus.).
16. Shubenkov M.V., Mityagin S.D., Gaevs-kaya Z.A. The sixth technological revolution in construction industry: Noospheric paths. *Advances in Energy and Environment Research*. 2017; 129-134. DOI: 10.1201/9781315212876-27
17. Kolyasnikov V.A. Strategy of spatial development in urban planning Russia. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020; 962:032033. DOI: 10.1088/1757-899X/962/3/032033
18. Shcherbina E., Gorbenkova E. Smart city technologies for sustainable rural development. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018; 365:022039. DOI: 10.1088/1757-899X/365/2/022039
19. Moulaert F., Sekia F. Territorial innovation models: a critical survey. *Regional Studies*. 2003; 37(3):289-302. DOI: 10.1080/0034340032000065442
20. Yushkova N.G. The Issues of Adaptive Planning of Development of Regional Socio – Economic Systems. *XII All-Russian Conference on Management Problems VSPU-2014, Moscow, June 16-19, 2014 : Proceedings of the Conference*. 2014; 5579-5592. (rus.).
21. Yushkova N.G. Potential of The Spatial System of the Region in Defining the Innovation Strategy of Territorial Development. *Russia's Regions: the Strategies and Mechanisms of Modernization, Innovation and Technological Development : Proceedings of the Eighth International Research – to – Practice Conference*. 2012; 400-406. (rus.).
22. Danilina N.V. City's strategy of park-and-ride system planning. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2018; 13(2):190-195. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.2.190-195 (rus.).
23. Danilina N., Vlasov D. Development of “Park-and-Ride” system as a tool for sustainable access control managing. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2017; 90:012214. DOI: 10.1088/1755-1315/90/1/012214
24. Gorbenkova E.V. Transformation features in rural settlement system of Belarus. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2020; 15(5):729-745. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.5.729-745 (rus.).
25. Alekseev Y.V., Perekopskaya M.A. Approach to the assessment of territories with a developed forestry complex (on the example of the Arkhangelsk region). *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2020; 2:62-71. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-2-62-71 (rus.).
26. Alekseev Y.V. Approach to evaluation of scientific evolution problems in the urban management system. *Architecture and Construction of Russia*. 2019; 4(232):16-21. (rus.).
27. Yushkova N.G., Alekseev Yu.V. Local changes in regional settlement systems: conditions, features, trends. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2021; 16(9):1152-1167. DOI: 10.22227/1997- 0935.2021.9.1152-1167 (rus.).
28. Shvetsov A.N., Demyanenko A.N., Ukrain-sky V.N. Destructive Stereotypes of Russian Strategic Planning and Their Possible Consequences for Practice of Regional Strategy Development (Part 1). *Regionalistics*. 2016; 3(3):48-60. (rus.).
29. Ilyichev V.A., Kolchunov V.I., Bakaeva N.V. Principles of area development strategic planning (the case of the free state of Bavaria). *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2019; 14:2:158-168. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.2.158-168 (rus.).
30. Perekopskaia M.A., Alekseev Y.V. Planning of settlements in timber-producing areas (on the example of the Arkhangelsk region). *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2021; 16(9):1124-1135. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.9.1124-1135 (rus.).
31. Perekopskaya M.A. The role of territorial planning in the organization of settlements in the timber industry area. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2022; 2:55-64. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-55-64 (rus.).
32. Alekseev Yu.V., Samoilova N.A. Approach to urban planning of the coal basin. *Architecture and Construction of Russia*. 2015; 8:30-39. (rus.).
33. Yenin A.E., Liventceva A.V. System approach in urban planning. History. General foundations. *Russian journal of building construction and architecture*. 2017; 1(33):91-101.
34. Wang J. The economic impact of Special Economic Zones: Evidence from Chinese municipalities. *Journal of Development Economics*. 2013; 101:133-147. DOI: 10.1016/j.jdevec.2012.10.009
35. Graboviy P. Reconstruction and modernization of industrial parks. *E3S Web of Conferences*. 2019; 91:08028. DOI: 10.1051/e3sconf/20199108028
36. Leonov S.N. Preferential regimes of established local growth points and its impact on the economy of the Far East. *Economic and Social Changes: Facts,*

Trends, Forecast. 2020; 13(3):28-45. DOI: 10.15838/esc.2020.3.69.3

37. Yushkova N.G., Gushchina E.G., Dontsov D.G., Fikhtner O.A. Spatial development dichotomy: as-

essment of the potential and implementation of territorial systems. *The European Proceedings of Social and Behavioural Sciences*. 2019. DOI: 10.15405/epsbs.2019.12.05.97

Received June 17, 2022.

Adopted in revised form on July 5, 2022.

Approved for publication on July 5, 2022.

B I O N O T E S: **Natalya G. Yushkova** — PhD in Architecture, Associate professor, Adviser of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; **Volgograd State Technical University (VSTU)**; 28 Lenina Avenue, Volgograd, 400005, Russian Federation; ID RISC: 513635, Scopus: 57193128174, ResearcherID: AAR-1414-2021, ORCID: 0000-0001-8845-9585; ng_yushkova-v@mail.ru;

Daria N. Nikiforova — Chief Specialist of the Urban Design Workshop; **Volgograd Region Architectural and Planning Bureau**; 19a Mira st., 400066, Volgograd, Russian Federation; Master student; **Volgograd State Technical University (VSTU)**; 28 Lenina Avenue, Volgograd, 400005, Russian Federation; ID RISC: 1113275; nikiforova-dasha-98@mail.ru.

Contribution of the authors:

Natalya G. Yushkova — the concept of the study and its structure, development of methodology, development of graphic schemes, formulation of the conditions for the experiment and evaluation of the results of its implementation, processing and systematization of the material, writing text, final conclusions.

Daria N. Nikiforova — collection of initial data, participation in the development and conduct of the experiment, a description of its results, the development of graphic diagrams and tables.

The authors declare that there is no conflict of interests.

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

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 624.131.524.3 : 624.131.526 : 624.154.1

DOI: 10.22227/1997-0935.2022.7.871-881

Решение задачи осадки сваи под действием вертикальной статической нагрузки с учетом пластических свойств грунтов основания

Завен Григорьевич Тер-Мартirosян¹, Кирилл Александрович Филиппов^{1,2}

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

² *АО «53 Центральный проектный институт»; г. Москва, Россия*

АННОТАЦИЯ

Введение. Рассматривается проблема нелинейных расчетов сооружений на свайных фундаментах. Цель исследования – разработка методики определения нелинейного закона деформирования одиночной сваи. В задачи работы входят постановка и решение задачи об осадке одиночных свай с учетом пластических свойств грунтов основания по ее боковой поверхности и под острием аналитическим методом, а также верификация полученных решений натурными данными, полученными при испытании сваи статической нагрузкой.

Материалы и методы. Для полученного решения принята расчетная модель телескопического движения коаксиальных цилиндрических слоев грунта вокруг сваи. Осадка сваи за счет продавливания нижнего слоя рассчитана по известной формуле о круглом жестком штампе, расположенном на заданной глубине от поверхности. Для верификации решения использованы материалы статических испытаний трех железобетонных призматических свай в основании больницы, расположенной в г. Тверь. Погружение свай выполнялось методом статического вдавливания.

Результаты. Представлено сопоставление результатов расчета по полученному решению с данными полевого испытания. Анализ сопоставления показывает, что решение позволяет описывать форму кривой «осадка-нагрузка» для статического нагружения одиночной сваи. Выявлено закономерное расхождение расчетных и натурных данных, связанное с неточностью в расчете предельного сопротивления сваи и с отсутствием учета упрочнения в полученных формулах.

Выводы. Полученное решение для осадки одиночной сваи с учетом пластических свойств грунтов основания по боковой поверхности и под острием сваи позволяет описывать закон деформирования одиночной сваи под действием статической нагрузки. Дальнейшая работа с развитием этого решения будет связана с учетом упрочнения. Значительное влияние на результаты расчета по полученному решению оказывают принятые показатели предельного сопротивления сваи по боковой поверхности и под острием. Актуальной задачей для дальнейшей работы является поиск альтернативных способов их определения. Расчет осадок свайных фундаментов является сложной задачей, требующей учета технологии погружения свай и соответствующего изменения свойств вмещающих грунтов. Рассмотренные примеры показывают, что при расчете вдавливаемых свай по СП 24.13330.2011 без учета уплотнения грунтов под острием в процессе погружения сваи возможна недооценка ее несущей способности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: грунт, сваи, осадка, упругопластическая осадка, нелинейная механика грунтов, вдавливаемые сваи, испытание статической нагрузкой

Благодарности. Авторы выражают благодарность за предоставление результатов статических испытаний свай ООО «ЭГЕОС».

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Тер-Мартirosян З.Г., Филиппов К.А. Решение задачи осадки сваи под действием вертикальной статической нагрузки с учетом пластических свойств грунтов основания // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 7. С. 871–881. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.7.871-881

Автор, ответственный за переписку: Кирилл Александрович Филиппов, 4155599@gmail.com.

A solution to the problem of pile settlement caused by vertical static loading with consideration to plastic properties of the foundation soil

Zaven G. Ter-Martirosyan¹, Kirill A. Filippov^{1,2}

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

² *53 Central Design Institute; Moscow, Russian Federation*

ABSTRACT

Introduction. The article addresses the problem of nonlinear analyses of structures having pile foundations. The purpose of the study is to develop a method for determining the nonlinear behaviour of a single pile. The tasks of the study are to use the analytical method to define and solve the settlement problem of a single pile, taking into account the plastic properties of soils along the lateral surface and under the tip, as well as to verify the obtained solutions using the field data obtained by testing the pile subjected to static loading.

Materials and methods. The analytical model of the telescopic motion of coaxial cylindrical soil layers around the pile was applied to obtain the solution. Pile settlement due to the punching of the bottom layer was calculated using the available formula dealing with a circular rigid stamp located at a given depth from the surface. To verify the solution, the authors used the materials of static loading tests conducted in respect of three reinforced concrete prismatic piles of the base of a hospital building located in the city of Tver. A static method was used to drive the piles.

Results. A comparison between the results of the analysis obtained using the proposed solution and the field test data is presented. The analysis of this comparison shows that the solution allows describing the load-settlement curve for the static loading of a single pile. A reasonable mismatch between the calculated and field data is identified; it is associated with the inability of the derived formula to take account of soil consolidation.

Conclusions. The solution, obtained for single pile settlement, takes into account plastic properties of soil on the lateral surface and under the pile tip. This solution describes the regularity of single pile deformation under static loading. Further research will take soil consolidation into account. The assumed values of the ultimate resistance of a pile along a lateral surface and under the pile tip have a considerable influence on the results of the calculation according to the solution obtained by the authors. A relevant task, to be solved in the course of further research, is to find alternative methods of their determination.

The analysis of the pile foundation settlement is a complicated problem that needs to take into account the pile driving technology and corresponding changes in the properties of surrounding soils. The cases, discussed in the article, show that when piles are analyzed according to SP (Construction Regulations) 24.13330.2011, without taking into account the soil consolidation under the tip during pile driving, its bearing capacity can be underestimated.

KEYWORDS: soil, piles, settlement, elastoplastic settlement, nonlinear soil mechanics, driven piles, static loading test

Acknowledgements. The authors are grateful to AIGEOS Company for providing the static loading test results for piles.

FOR CITATION: Ter-Martirosyan Z.G., Filippov K.A. A solution to the problem of pile settlement caused by vertical static loading with consideration to plastic properties of the foundation soil. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2022; 17(7):871-881. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.7.871-881 (rus.).

Corresponding author: Kirill A. Filippov, 4155599@gmail.com.

ВВЕДЕНИЕ

В современной практике расчетов зданий и сооружений на свайных фундаментах вопрос о жесткости основания в опорных узлах несущих конструкций является актуальным для обсуждения. Существуют методики, позволяющие в линейной постановке учитывать жесткость основания как для одиночных свай, так и для свайных кустов и полей с учетом взаимного влияния и взаимодействия с ростверком [1–9]. Однако для нелинейных расчетов, все чаще встречающихся в проектировании, нет четкого ответа на вопрос: какой закон деформирования основания использовать для конструкций, опирающихся на свайный фундамент? Наиболее очевидным и надежным его решением является использование графика «осадка-нагрузка», получаемого при проведении статического испытания сваи. При отсутствии таких данных закон деформирования может быть получен при численном моделировании сваи в трехмерной или осесимметричной постановке в геотехнических расчетных комплексах. Еще одним решением можно назвать использование закона деформирования, получаемого при моделировании динамического испытания сваи с использованием волновой теории удара [10, 11]. В частности, для получения закона деформирования может быть использован ПК CAPWAP¹.

Для верификации результатов расчета по описанным выше численным методам могут быть использованы аналитические решения задачи осадки сваи под действием вертикальной статической нагрузки. На сегодняшний день разработаны решения данной задачи в упругой и в упруго-пластической постановке [12–14], однако пластические свойства грунтов основания в известных решениях учитываются либо только для грунта под острием сваи, либо только для грунта у ее боковой поверхности. Учет подобного нелинейного поведения сваи был произведен в работе [15] для определения давления под острием сваи. Целью настоящей работы является разработка методики определения нелинейного закона деформирования одиночной сваи. В задачи работы входят: получение аналитического решения, учитывающего пластические свойства грунта как под острием, так и у боковой поверхности сваи, а также верификация решения натурными данными, полученными при испытании сваи статической нагрузкой. За предоставление результатов статических испытаний авторы выражают благодарность ООО «ЭГЕОС».

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для решения статической задачи была выбрана расчетная схема [16] в виде толстостенного грунтового цилиндра, вмещающего сваю длиной l и диаме-

¹ Pile Dynamics, Inc. URL: <https://www.pile.com/>

тром $2a$ (рис. 1). Предполагается, что радиус влияния сваи ограничен диаметром $2b$, где осадка сваи равна нулю. Осадка грунта вокруг сваи от силы трения по боковой поверхности при этом определяется через угловую деформацию в предположении, что имеет место телескопическое движение коаксиальных цилиндрических слоев грунта вокруг сваи [12, 16]. Основное уравнение равновесия для приведенной схемы выводится из условия $N = R + T$ (рис. 1), где N — действующая на сваю нагрузка; R — лобовое сопротивление под острием сваи; T — суммарное сопротивление трению по боковой поверхности [16]:

$$\sigma_N = 2\tau_a(l/a) + \sigma_R, \quad (1)$$

где $\tau_a = T/2\pi al$ — напряжения на контакте «свая – окружающий грунт»; l — длина сваи; a — радиус сваи (для призматических свай далее в работе будет использоваться приведенный радиус равновеликого круга); σ_R — напряжение под нижним концом сваи.

Внедрение сваи в грунтовую толщу (цилиндр) можно определить через угловую деформацию окружающего грунта [16]:

$$S_\tau = \int_a^b \gamma(r) dr. \quad (2)$$

Осадку сваи за счет продавливания нижнего слоя можно рассчитывать по формуле о круглом жестком штампе, расположенном на глубине l от поверхности [17]:

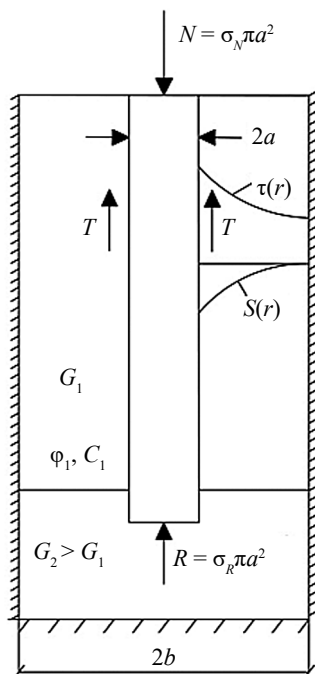


Рис. 1. Расчетная схема одиночной несжимаемой сваи с учетом упругопластических свойств окружающего и подстилающего грунтов

Fig. 1. The structural design of a single incompressible pile, taking into account elastoplastic properties of surrounding and underlying soils

$$S_R = \frac{pD}{8E} K_0 = \sigma_R \frac{a(1-\nu_2)}{G_2} K_l, \quad (3)$$

где p — распределенная нагрузка на штамп; D — диаметр штампа; E — модуль деформации грунта под штампом; K_0 — коэффициент, определяемый по формуле:

$$K_0 = \frac{(1+\nu_2)}{(1-\nu_2)} C, \quad (4)$$

где C :

$$C = (3-4\nu_2) + (8(1-\nu_2)^2 - (3-4\nu_2)) \times \left(\sqrt{1+4(h/a)^2} - \sqrt{4(h/a)^2} \right) + (16\nu_2 - 10)(h/a)^2 \times \left(\frac{1}{\sqrt{1+4(h/a)^2}} - \frac{1}{\sqrt{4(h/a)^2}} \right) + \left(8 h/a^4 \left(\frac{1}{(\sqrt{4(h/a)^2})^3} - \frac{1}{(\sqrt{1+4(h/a)^2})^3} \right) \right), \quad (5)$$

где ν_2 — коэффициент Пуассона для грунта под штампом (или острием сваи); h — глубина приложения нагрузки от штампа (или острия сваи); G_2 — сдвиговой модуль деформации для грунта под острием сваи; K_l — коэффициент, определяемый по формуле:

$$K_l = \frac{1}{8(1-\nu_2)^2} C. \quad (6)$$

Угловая деформация для линейной задачи определяется по выражению [16]:

$$\gamma(r) = \frac{\tau(r)}{G_1}, \quad (7)$$

где G_1 — сдвиговой модуль деформации для грунта у боковой поверхности сваи.

Для пластической задачи выражение приобретает вид [13]:

$$\gamma(r) = \frac{\tau(r)}{G_1} \cdot \frac{\tau^*}{\tau^* - \tau(r)}, \quad (8)$$

где τ^* — предельное сопротивление трению по боковой поверхности сваи.

При этом напряжения в грунте можно определить по формуле [13]:

$$\tau(r) = \tau_a(a/r). \quad (9)$$

Подстановка формулы (8) в формулу (7) приводит к выражению [13]:

$$\gamma(r) = \frac{\tau_a(a/r)}{G_1} \cdot \frac{\tau^*}{\tau^* - \tau_a(a/r)}. \quad (10)$$

Его интегрирование позволяет определить осадку за счет угловой деформации окружающего грунта [13]:

$$\begin{aligned} S_\tau &= \int_a^b \frac{\tau_a(a/r)}{G_1} \cdot \frac{\tau^*}{\tau^* - \tau_a(a/r)} dr = \\ &= \int_a^b \frac{\tau_a a}{G_1 r} \cdot \frac{\tau^* r}{\tau^* r - \tau_a a} dr = \frac{\tau_a a}{G_1} \int_a^b \frac{dr}{r - \frac{\tau_a}{\tau^*} a} = \\ &= \frac{\tau_a a}{G_1} \left(\ln \left| b - \frac{\tau_a}{\tau^*} a \right| - \ln \left| a - \frac{\tau_a}{\tau^*} a \right| \right) = \\ &= \frac{\tau_a a}{G_1} \ln \frac{b\tau^* - a\tau_a}{a(\tau^* - \tau_a)}. \end{aligned} \quad (11)$$

Для линейной задачи в работе Г.О. Анжело [13] из условия равенства перемещений и уравнения равновесия получены следующие выражения:

$$\sigma_R = \sigma_N A, \quad (12)$$

$$A = \frac{2G_2 \ln b/a}{\pi(1-\nu_2) K_l G_1 (l/a) + \ln(b/a) 2G_2}. \quad (13)$$

Для задачи с учетом пластических свойств грунта по боковой поверхности сваи в указанной работе выведены зависимости [13]:

$$\sigma_R = \frac{\tau_a}{G_1} \frac{G_2}{(1-\theta_2) K_l} \ln \frac{b\tau^* - a\tau_a}{a(\tau^* - \tau_a)}, \quad (14)$$

$$\sigma_N = \tau_a \left(\frac{2l}{a} + \frac{G_2}{G_1 (1-\nu_2) K_l} \ln \frac{b\tau^* - a\tau_a}{a(\tau^* - \tau_a)} \right). \quad (15)$$

При решении поставленной задачи нагружения сваи с учетом пластических свойств грунта основания для сопротивления по боковой поверхности и под острием в настоящей работе осадка за счет продавливания нижнего слоя определялась по формуле:

$$S_R = \sigma_R \frac{a(1-\nu_2)}{G_2} K_l \frac{\sigma^*}{\sigma^* - \sigma_R}, \quad (16)$$

где σ^* — предельное сопротивление грунта под острием сваи.

Тогда, учитывая условие равенства перемещений $S_R = S_\tau$:

$$\frac{\tau_a a}{G_1} \ln \frac{b\tau^* - a\tau_a}{a(\tau^* - \tau_a)} = \sigma_R \frac{a(1-\nu_2)}{G_2} K_l \frac{\sigma^*}{\sigma^* - \sigma_R}, \quad (17)$$

выразим σ_R из (17):

$$\sigma_R = \frac{\frac{\tau_a a}{G_1} \ln \frac{b\tau^* - a\tau_a}{a(\tau^* - \tau_a)} \cdot \sigma^*}{\sigma^* \frac{a(1-\nu_2)}{G_2} K_l + \frac{\tau_a a}{G_1} \ln \frac{b\tau^* - a\tau_a}{a(\tau^* - \tau_a)}}. \quad (18)$$

Выражение для σ_N получим из условия равновесия (1):

$$\sigma_N = \tau_a \cdot \left[2(l/a) + \frac{\frac{a}{G_1} \ln \frac{b\tau^* - a\tau_a}{a(\tau^* - \tau_a)} \cdot \sigma^*}{\sigma^* \frac{a(1-\nu_2)}{G_2} K_l + \frac{\tau_a a}{G_1} \ln \frac{b\tau^* - a\tau_a}{a(\tau^* - \tau_a)}} \right]. \quad (19)$$

Для приведенных выражений было проведено сопоставление с формулами (12)–(15) в графическом виде с применением ПК MathCAD (рис. 2, 3) и MS Excel (рис. 4). В вычислениях использовались следующие данные: $G_1 = 1920$ кПа; $G_2 = 11\,540$ кПа; $a = 0,3$ м; $b = 0,9$ м; $\nu_2 = 0,3$; $l = 4$ м; $\tau^* = 10$ кПа; $\sigma^* = 1000$ кПа.

Графики закономерно отражают разницу в моделях: при равных напряжениях по боковой поверхности для линейно-упругой модели напряжения в материале сваи и под подошвой наименьшие — это вызвано тем, что перераспределение между боковой поверхностью и острием отсутствует. В нелинейных моделях за счет перераспределения при тех же напряжениях по боковой поверхности напряжения под острием сваи могут быть выше (за счет чего выше и напряжения в материале сваи). Закономерно и то, что напряжения в модели с пластическим элементом у боковой поверхности

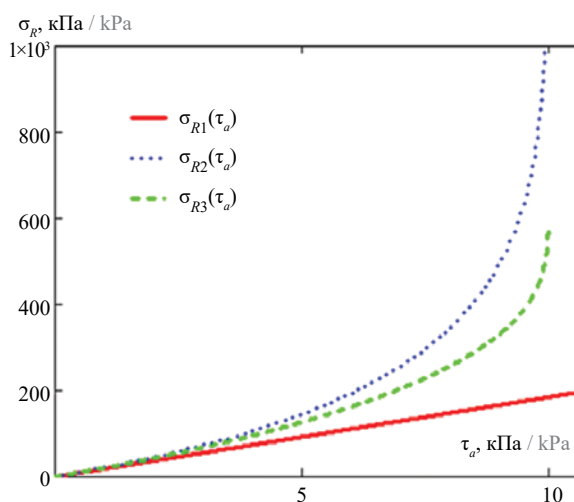


Рис. 2. Графики зависимости напряжений под острием сваи от напряжений трения по боковой поверхности: $\sigma_{R1}(\tau_a)$ — линейно-упругая модель; $\sigma_{R2}(\tau_a)$ — модель с одним пластическим элементом; $\sigma_{R3}(\tau_a)$ — модель с двумя пластическими элементами

Fig. 2. Graphs showing dependence between stresses under the pile tip and friction stresses along the lateral surface: $\sigma_{R1}(\tau_a)$ is the linear elastic model; $\sigma_{R2}(\tau_a)$ is the model with one plastic element; $\sigma_{R3}(\tau_a)$ is the model with two plastic elements

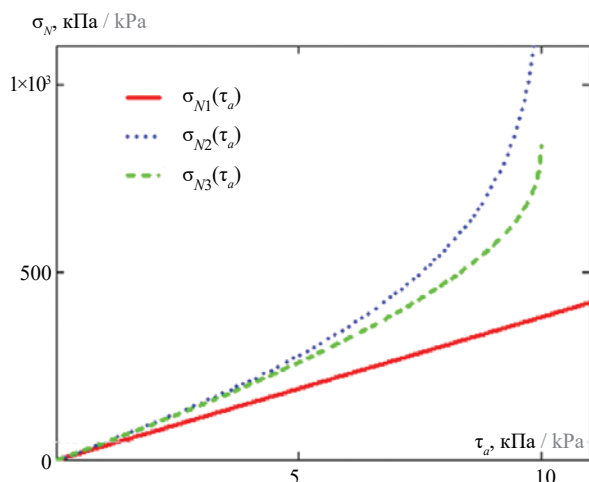


Рис. 3. Графики зависимости напряжений в стволе свай от напряжений трения по боковой поверхности: $\sigma_{N1}(\tau_a)$ — линейно-упругая модель; $\sigma_{N2}(\tau_a)$ — модель с одним пластическим элементом; $\sigma_{N3}(\tau_a)$ — модель с двумя пластическими элементами

Fig. 3. Graphs showing dependence between stresses in the pile shaft and friction stress along the lateral surface: $\sigma_{N1}(\tau_a)$ is the linear elastic model; $\sigma_{N2}(\tau_a)$ is the model with one plastic element; $\sigma_{N3}(\tau_a)$ is the model with two plastic elements

превышают напряжения в модели с двумя пластическими элементами: при увеличении нагрузки пластическая модель грунта под острием свай может воспринимать меньшие напряжения при той же деформации, чем упругая. Из графиков на рис. 4 видно, что перемещения упругопластических моделей превышают перемещение для упругой модели. Очевидно также, что только модель с двумя пластическими элементами позволяет описать наступление предельного состояния.

Таким образом, поставленная статическая задача полностью решена. Следующий этап исследова-

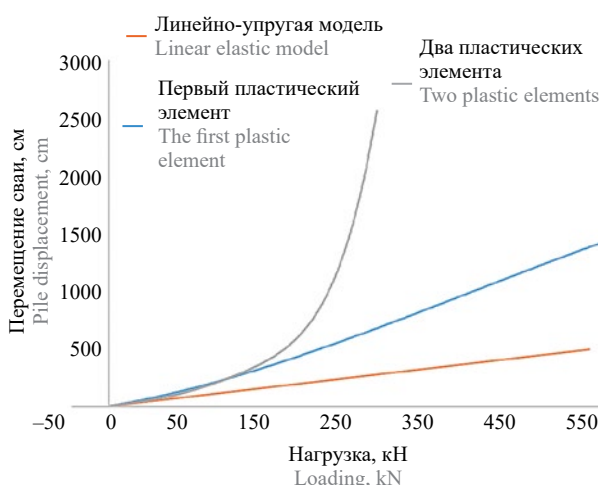


Рис. 4. Графики зависимости перемещения свай от действующей нагрузки

Fig. 4. Graphs showing dependence between pile displacement and actual loading

ния — сопоставление результатов расчета по полученной модели с натурными данными.

Выбранный для исследования объект — свайный фундамент на железобетонных призматических сваях в основании больницы, расположенной в г. Тверь. Для верификации решения использовались данные испытания свай № 662, 728, 3485.

Погружение свай выполнялось методом статического вдавливания. Выбор свай обусловлен тем, что в ходе их испытаний, в отличие от других свай на площадке, наблюдались значительные пластические деформации вплоть до наступления предельного состояния. Характеристики грунтов и параметры испытываемых свай представлены в табл. 1 и 2 соответственно, инженерно-геологические условия — на рис. 5.

При выполнении расчета для реального объекта отдельного внимания заслуживает вопрос выбора методики оценки несущей способности свай в полученных формулах (18), (19). Полноценный аналитический обзор методик определения несущей способности свай не входит в задачи настоящего исследования, ниже будут приведены лишь несколько из них.

В работах [13, 14, 16] отмечается, что в качестве предельного давления можно использовать значение p_u , рассчитанное по известному решению Л. Прандтля и Г. Рейснера:

$$p_u = (\gamma d + c \cdot \operatorname{ctg} \varphi) \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} e^{\pi \operatorname{tg} \varphi} - c \cdot \operatorname{ctg} \varphi, \quad (20)$$

где γ — удельный вес грунта; d — глубина приложения нагрузки; c — удельное сцепление грунта; φ — угол внутреннего трения грунта.

Следует отметить, что данная формула получена для плоской задачи, и результат расчета по ней значительно занижает предельное давление. Получение аналогичной формулы для осесимметричной задачи при круглом штампе на несвязном грунте представляется затруднительным [18].

В работе [16] предельное сопротивление предлагается определять по методике М.И. Горбунова-Посадова с учетом упругого и упругопластического отпора грунта, вызывающего дополнительное боковое давление на рассматриваемый цилиндр грунта под острием. Итоговое инженерное решение для нахождения предельного сопротивления грунта под острием свай в рассматриваемой работе не представлено. Его нахождение является перспективной задачей для будущих исследований.

Нормативные методы определения предельной нагрузки под острием и по боковой поверхности свай для отечественной практики описаны в своде правил проектирования свайных фундаментов [19]. Они основаны на эмпирических данных испытаний свай в различных грунтовых условиях. Следует отметить, что при расчете по п. 7.2.2² важным параметром является плот-

² СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85. М.: Стройиздат.

Табл. 1. Характеристики грунтов

Table 1. Soil characteristics

Номер ИГЭ Engineering and geological element number	Наименование Type	Модуль деформации E , МПа Deformation modulus E , MPa	Удельное сцепление c , кПа Specific bonding c , kPa	Угол внутреннего трения φ , град. Angle of internal friction φ , degrees	Примечание Note
2	Техногенный грунт Man-made soil	—	—	—	$R_0 = 80$ кПа / kPa
5	Песок мелкий, водонасыщенный, средней плотности Fine grain sand, water saturated, medium density	23	1	31	—
5Б	Песок мелкий, водонасыщенный, плотный Fine grain sand, water saturated, dense	46	5,9	36	—
6	Песок средней крупности, водонасыщенный, плотный Medium grain sand, water saturated, dense	41	3	37	—

Табл. 2. Параметры свай

Table 2. Pile parameters

Номер свай Pile number	Марка свай Pile grade	Сечение, см Section, cm	Длина (до срубki), м Length (before trimming), m	Длина (после срубki), м Length (after trimming), m	Абсолютная отметка, м Absolute elevation mark, m		
					Верх свай Pile top	Острые свай Pile tip	Поверхность земли Soil surface
662	С.80.30-11	30 × 30	8	2,01	134,68	132,67	134,45
728				2,73	134,70	131,97	134,40
3485				5,01	134,70	129,69	134,20

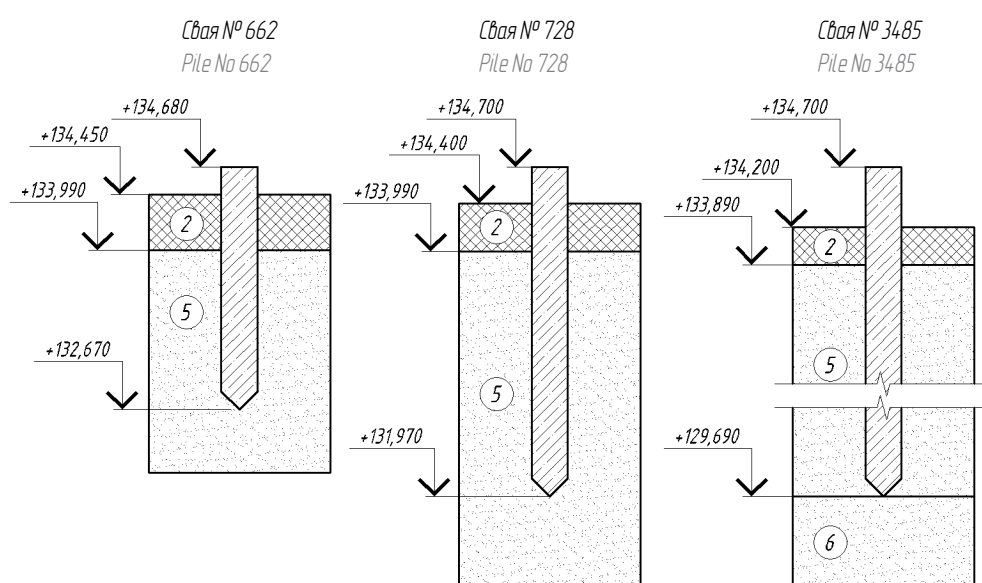


Рис. 5. Инженерно-геологические условия площадки строительства

Fig. 5. Engineering and geological conditions of the construction site

ность песчаного грунта под острием сваи (метод предполагает увеличение расчетного сопротивления под острием на 100% для песков крупных и средней крупности и на 130% для песков мелких и пылеватых). Первым возможным решением при расчете является использование классификационных показателей, полученных при полевых испытаниях грунтов (для рассматриваемого случая ИГЭ 5 классифицируется как песок средней плотности). Второе решение — расчет с учетом изменения плотности при забивке свай: известно [19], что при забивке в песчаных грунтах под острием происходит уплотнение на глубину 3–4 диаметра сваи. Таким образом, грунт ИГЭ 5 после забивки сваи можно рассматривать на глубину 0,9–1,2 м от острия как плотный.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В табл. 3 приведены: значения расчетного сопротивления грунта под острием R , рассчитанные по формуле (20) и по таблицам свода правил¹; значения расчетного сопротивления грунта по боковой поверхности и несущей способности сваи, рассчитанные по п. 7.2.2²; частные значения предельного сопротивления сваи по результатам статического испытания. При этом для расчетов по п. 7.2.2¹ дополнительно в скобках приведены значения, принятые с учетом уплотнения песчаного грунта при забивке. Для результатов статического испытания над чертой приведены принятые по результатам испытаний частные значения предельного сопротивления свай и под чертой — значения максимальной испытательной нагрузки (для свай 662 и 3485 при ней не наблюдалось фактического срыва, для сваи 728 — наблюдался).

Анализ значений, приведенных в табл. 3, показывает, что использование формулы (20) для рассматриваемых условий значительно (более чем в 4 раза) занижает сопротивление грунта под острием.

Представленные данные показывают обоснованность учета уплотнения грунта после забивки свай при расчете по п. 7.2.2².

Значения несущей способности свай для всех расчетных методик не превышают частные значения предельного сопротивления сваи по результатам статических испытаний. Таким образом, для корректного учета пластических свойств при расчете осадок по полученным формулам на этапе проектирования наиболее целесообразно использовать параметры несущей способности, рассчитанные по своду правил без учета коэффициента надежности по грунту.

Для дальнейших расчетов по выведенному теоретическому решению параметры несущей способности свай были приняты по наибольшей ступени нагрузки в процессе статического испытания (значения под чертой в табл. 3).

Параметры деформируемости для грунта основания были приняты с учетом способа погружения. Для рассматриваемых грунтовых условий значение модуля деформации уплотненного грунта под острием сваи было взято по данным для грунта ИГЭ 5б, находящегося в плотном состоянии (46 МПа). Обоснованность такого решения подтверждается данными А.А. Бартоломея [19]: в ходе его опытов модуль деформации песчаного грунта под одиночными сваями увеличивался с 12 до 46 МПа.

Для выбранных параметров несущей способности и деформируемости были проведены рас-

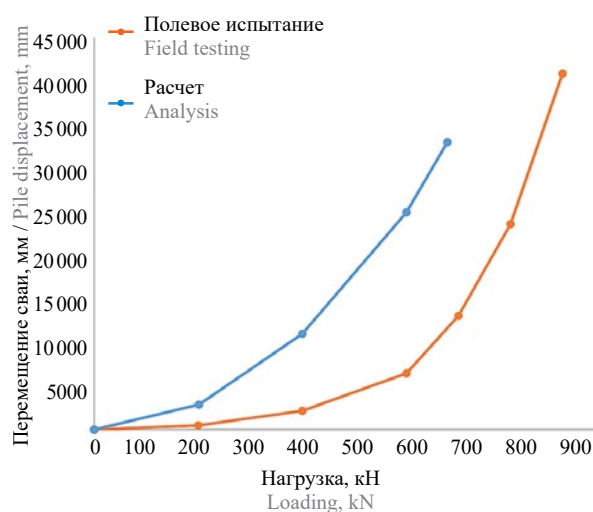


Рис. 6. Графики зависимости перемещения сваи № 662 от действующей нагрузки, построенные по результатам полевого испытания и расчета

Fig. 6. Graphs showing dependence between pile No. 662 displacement and actual loading based on the results of field testing and analysis

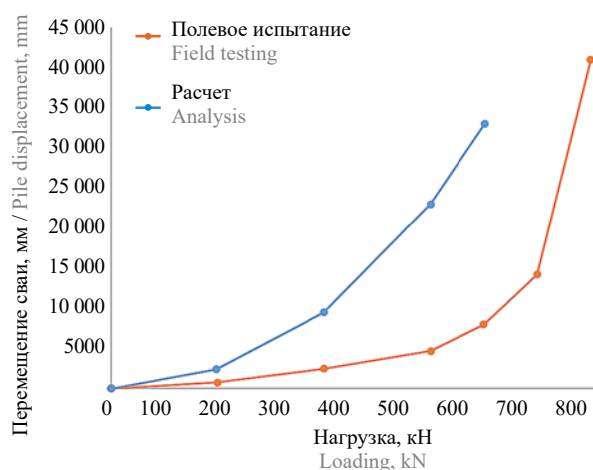


Рис. 7. Графики зависимости перемещения сваи № 728 от действующей нагрузки, построенные по результатам полевого испытания и расчета

Fig. 7. Graphs showing dependence between pile No. 728 displacement and actual loading based on the results of field testing and analysis

Табл. 3. Расчетные и экспериментально определенные сопротивления грунта

Table 3. Analyzed and experimentally determined soil resistance values

Номер сваи Pile number	Расчетное сопротивление грунта под острием R , кПа Made using the formula of L. Prandtl and G. Reissner	Свод правил ² п. 7.2.2 Code o.rules ² p. 7.2.2			Свод правил ² п. 7.3.10 (статическое зондирование) Code o.rules ² p. 7.3.10 (static probing)					Частное значение предельного сопротивления свай по результатам статического испытания, кН Special value of limit pile resistance found during static testing, kN
		Расчетное сопротивление грунта под острием R , кПа Analysis of soil resistance under tip R , kPa	Среднее расчетное сопротивление грунта по боковой поверхности f , кПа Average calculated soil resistance along lateral surface f , kPa	Несущая способность F_d , кН Bearing capacity F_d , kN	Удельное сопротивление грунта под кончиком зонда q_s , кПа Unit soil resistance under the probe tip q_s , kPa	Предельное сопротивление грунта под нижним концом сваи R_s , кПа Limit soil resistance under the bottom tip of pile R_s , kPa	Общее сопротивление грунта по боковой поверхности зонда Q , кН Total soil resistance along the lateral surface of probe Q , kN	Среднее предельное сопротивление грунта на боковой поверхности сваи f , кПа Average value of limit soil resistance on the lateral surface of a pile f , kPa	Частное предельное сопротивление свай по результатам статического испытания, кН Special value of limit resistance F_d , kN	
662	845,5	2000 (4600)	26,5 (34,5)	243,6 (496,7)	4500	2790	24	54	380,7	753,4/847,6
728	1130	2000 (4600)	26,5 (34,5)	265,9 (525,6)	4500	2790	24	54	426	753,4/847,6
3485	2065	5060	31,5 (40,95)	644,4 (701,1)	15 500	5425	26	58,5	839,3	1059,5/1059,5

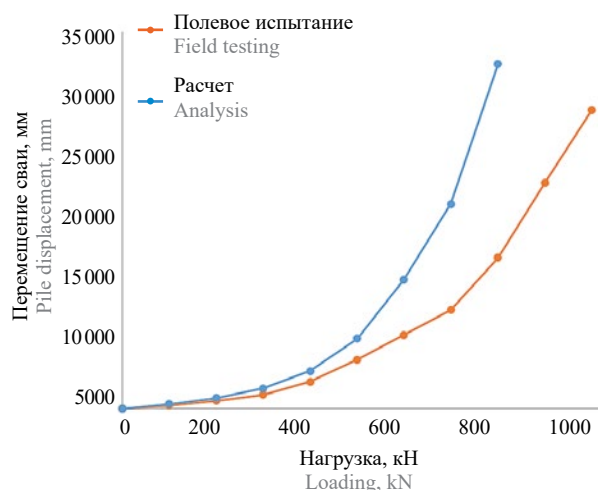


Рис. 8. Графики зависимости перемещения сваи № 3485 от действующей нагрузки, построенные по результатам полевого испытания и расчета

Fig. 8. Graphs showing dependence between pile No.3485 displacement and actual loading based on the results of field testing and analysis

четы осадки свай № 662, 728, 348 с применением ПК MathCAD.

На рис. 6–8 представлены совмещенные графики деформирования при приложении возрастающей статической нагрузки, построенные по результатам расчета и полевого испытания для свай № 662, 728, 3485 соответственно.

Анализ графиков показывает, что полученное теоретическое решение позволяет описывать форму кривой «осадка-нагрузка» для статического нагружения одиночной сваи. Расхождение расчетных и натурных данных связано, в основном, с неточностью в расчете предельного сопро-

тивления сваи и с отсутствием учета упрочнения в полученных формулах. Учет данного явления позволит «приблизить» расчетные графики к графикам натурных испытаний, повышая жесткость модели в процессе деформирования. Учет упрочнения на основе уравнений Генки [20] является перспективной задачей для будущих работ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Полученное в ходе настоящей работы решение для осадки одиночной сваи с учетом пластических свойств грунтов основания по боковой поверхности и под острием сваи позволяет описывать закон деформирования одиночной сваи под действием статической нагрузки.

Значительное влияние на результаты расчета по полученному решению оказывают принятые показатели предельного сопротивления сваи по боковой поверхности и под острием. Рассмотренные в статье подходы к их определению без применения коэффициентов запаса дают весьма консервативные результаты, что для расчета по второй группе предельных состояний не вполне обосновано. Таким образом, перспективной задачей для будущих исследований является поиск альтернативных методов определения предельного сопротивления, в частности, основанных на методике М.И. Горбунова-Посадова.

Расчет осадок свайных фундаментов является сложной задачей, требующей учета технологии погружения свай и соответствующего изменения свойств вмещающих грунтов. Рассмотренные в статье примеры показывают, что при расчете вдавливаемых свай по СП 24.13330.2011 без учета уплотнения грунтов под острием в процессе погружения сваи возможна недооценка ее несущей способности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Нуждин Л.В., Михайлов В.С. Численное моделирование свайных фундаментов в расчетно-аналитическом комплексе SCAD Office // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. 2018. Т. 9. № 1. С. 5–18. DOI: 10.15593/2224-9826/2018.1.01
2. Дорошкевич Н.М., Знаменский В.В., Кудинов В.И. Инженерные методы расчета свайных фундаментов при различных схемах их нагружения // Вестник МГСУ. 2006. № 1. С. 119–132.
3. Poulos H.G. Piled raft foundations: design and applications // Geotechnique. 2001. Vol. 51. Issue 2. Pp. 95–113. DOI: 10.1680/geot.51.2.95.40292
4. Cunha R.P., Poulos H.G., Small J.C. Investigation of design alternatives for a piled raft case history // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 2001. Vol. 127. Issue 8. Pp. 635–641. DOI: 10.1061/(asce)1090-0241(2001)127:8(635)
5. Reul O., Randolph M.F. Design strategies for piled rafts subjected to nonuniform vertical loading // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 2004. Vol. 130. Issue 1. Pp. 1–13. DOI: 10.1061/(asce)1090-0241(2004)130:1(1)
6. Katzenbach R., Arslan U., Moormann C., Reul O. Piled raft foundation-interaction between piles and raft // Darmstadt Geotechnics. 1998. Vol. 4. Pp. 279–296.
7. Chan C.M., Zhang L.M., Ng J.T.M. Optimization of pile groups using hybrid genetic algorithms // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 2009. Vol. 135. Issue 4. Pp. 497–505. DOI: 10.1061/(asce)1090-0241(2009)135:4(497)
8. Randolph M.F., Wroth C.P. An analysis of the vertical deformation of pile groups // Geotechnique. 1979. Vol. 29. Issue 4. Pp. 423–439. DOI: 10.1680/geot.1979.29.4.423

9. Horikoshi K., Randolph M.F. A contribution to optimum design of piled rafts // *Geotechnique*. 1998. Vol. 48. Issue 3. Pp. 301–317. DOI: 10.1680/geot.1998.48.3.301

10. Мухин А.А., Чуркин А.А., Филиппов К.А., Гаврютина А.В. К вопросу о применении метода испытания свай динамической нагрузкой с использованием принципов волновой теории удара // *Геотехника*. 2020. Т. 12. № 2. С. 70–87. DOI: 10.25296/221-5514-2020-12-2-70-87

11. Филиппов К.А., Чуркин А.А., Гаврютина А.В., Мухин А.А. Волновая теория удара для контроля процесса погружения забивных свай // *Промышленное и гражданское строительство*. 2021. № 8. С. 41–50. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.08.41-50

12. Федоровский В.Г. Расчет осадок свай в однородных и многослойных основаниях : дис. ... канд. техн. наук. М. : НИИОСП им. Н.М. Герсеванова Госстроя СССР, 1974.

13. Анжелю Г.О. Взаимодействие щебеночной сваи с окружающим грунтом и ростверком (плитой) при статической и вибрационной нагрузках : дис. ... канд. техн. наук. М. : МГСУ, 2020.

14. Тер-Мартirosян А.З., Тер-Мартirosян З.Г., Чинь Туан Вьет, Лузин И.Н. Осадка и несущая способность длинной сваи // *Вестник МГСУ*. 2015. № 5. С. 52–60. DOI: 10.22227/1997-0935.2015.5.52-61

15. Тер-Мартirosян З.Г., Акулецкий А.С. Взаимодействие сваи большой длины с окружающим многослойным и подстилающим грунтами // *Вестник МГСУ*. 2021. Т. 16. № 2. С. 168–175. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.2.168-175

16. Тер-Мартirosян З.Г., Тер-Мартirosян А.З. *Механика грунтов в высотном строительстве с развитой подземной частью : учеб. пособие*. М. : Изд-во АСВ, 2020. 946 с.

17. Нгуен Занг Нам. Определение осадки круглого штампа с учетом его заглубления // *Строительство — формирование среды жизнедеятельности : сб. тр. IV Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и докторантов*. 2006. С. 40–43.

18. Meyerhof G.G. The ultimate bearing capacity of foundations // *Géotechnique*. 1951. Vol. 2. Issue 4. Pp. 301–332. DOI: 10.1680/geot.1951.2.4.301

19. Бартоломей А.А., Омельчак И.М., Юшков Б.С. Прогноз осадок свайных фундаментов. М. : Стройиздат, 1994. 380 с.

20. Тер-Мартirosян З.Г., Тер-Мартirosян А.З., Осман А. Осадка и несущая способность водонасыщенного основания фундамента конечной ширины при статическом воздействии // *Вестник МГСУ*. 2021. Т. 16. № 4. С. 463–472. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.4.463-472

Поступила в редакцию 5 мая 2022 г.

Принята в доработанном виде 11 мая 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; mgroif@mail.ru;

Кирилл Александрович Филиппов — аспирант кафедры механики грунтов и геотехники; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; главный специалист конструкторского отдела; **АО «53 Центральный проектный институт»**; 129085, г. Москва, пр-т Мира, д. 101Д, стр. 2; 41555599@gmail.com.

Вклад авторов:

Тер-Мартirosян З.Г. — научное руководство, концепция исследования.

Филиппов К.А. — вывод формул, проведение расчетов и сопоставительного анализа, написание текста и подготовка изображений, итоговые выводы.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Nuzhdin L.V., Mikhaylov V.S. Numerical modeling of pile foundations using SCAD office structural analysis software. *Vestnik PNIPU. Construction and Geotechnics*. 2018; 9(1):5-18. DOI: 10.15593/2224-9826/2018.1.01 (rus.).

2. Doroshkevich N.M., Znamensky V.V., Kudinov V.I. Engineering methods for calculating pile foundations for various loading schemes. *Vestnik MGSU*

[Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2006; 1:119-132. (rus.).

3. Poulos H.G. Piled raft foundations: design and applications. *Geotechnique*. 2001; 51(2):95-113. DOI: 10.1680/geot.51.2.95.40292

4. Cunha R.P., Poulos H.G., Small J.C. Investigation of Design Alternatives for a Piled Raft Case History. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental*

Engineering. 2001; 127(8):635-641. DOI: 10.1061/(asce)1090-0241(2001)127:8(635)

5. Reul O., Randolph M.F. Design strategies for piled rafts subjected to nonuniform vertical loading. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 2004; 130(1):1-13. DOI: 10.1061/(asce)1090-0241(2004)130:1(1)

6. Katzenbach R., Arslan U., Moormann C., Reul O. Piled raft foundation-interaction between piles and raft. *Darmstadt Geotechnics*. 1998; 4:279-296.

7. Chan C.M., Zhang L.M., Ng J.T.M. Optimization of pile groups using hybrid genetic algorithms. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 2009; 135(4):497-505. DOI: 10.1061/(asce)1090-0241(2009)135:4(497)

8. Randolph M.F., Wroth C.P. An analysis of the vertical deformation of pile groups. *Geotechnique*. 1979; 29(4):423-439. DOI: 10.1680/geot.1979.29.4.423

9. Horikoshi K., Randolph M.F. A contribution to optimum design of piled rafts. *Geotechnique*. 1998; 48(3):301-317. DOI: 10.1680/geot.1998.48.3.301

10. Mukhin A.A., Churkin A.A., Filippov K.A., Gavryutina A.V. About application of the method of high strain dynamic testing of piles. *Geotechnics*. 2020; 12(2):70-87. DOI: 10.25296/2221-5514-2020-12-2-70-87 (rus.).

11. Filippov K.A., Churkin A.A., Gavryutina A.V., Mukhin A.A. High strain dynamic testing for the control of the process of immersion of driven piles. *Industrial and Civil Engineering*. 2021; 8:41-50. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.08.41-50 (rus.).

12. Fedorovskij V.G. *Calculation of pile settlement in homogeneous and multilayer soils : PhD thesis*. Moscow, NIIOSP named after. N.M. Gersevanova Gosstroja USSR, 1974. (rus.).

13. Anzhelo G.O. *Interaction of a crushed stone pile with the surrounding soil and a grillage (slab) under static and vibration loads : Phd thesis*. Moscow, MGSU, 2020. (rus.).

14. Ter-Martirosyan A.Z., Ter-Martirosyan Z.G., Trinh Tuan Viet, Luzin I.N. Settlement and Bearing Capacity of Long Pile. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2015; 5:52-60. DOI: 10.22227/1997-0935.2015.5.52-61 (rus.).

15. Ter-Martirosyan Z.G., Akuletskii A.S. Interaction between a long pile and multi-layer underlying soils. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2021; 16(2):168-175. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.2.168-175 (rus.).

16. Ter-Martirosjan Z.G., Ter-Martirosjan A.Z. *Soil mechanics for high-rise buildings having sophisticated underground substructures : training manual*. Moscow, ASV Publishing House, 2020; 946. (rus.).

17. Nguen Zang Nam. Determination of circular stamp settlement, taking into account its depth. *Construction — the formation of a living environment : collection of proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference of Young Scientists, Post-graduates and Doctoral Students*. 2006; 40-43. (rus.).

18. Meyerhof G.G. The ultimate bearing capacity of foundations. *Géotechnique*. 1951; 2(4):301-332. DOI: 10.1680/geot.1951.2.4.301

19. Bartolomej A.A., Omel'chak I.M., Jushkov B.S. *Pile foundation settlement prediction*. Moscow, Stroyizdat Publ., 1994; 380. (rus.).

20. Ter-Martirosyan Z.G., Ter-Martirosyan A.Z., Ahmad Othman. Settlement and bearing capacity of water-saturated soils of foundations of finite width under static impact. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2021; 16(4):463-472. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.4.463-472 (rus.).

Received May 5, 2022.

Adopted in revised form on May 11, 2022.

Approved for publication on June 27, 2022.

B I O N O T E S: **Zaven G. Ter-Martirosyan** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Soil Mechanics and geotechnics; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; mgroif@mail.ru;

Kirill A. Filippov — postgraduate student, Department of Soil Mechanics and geotechnics; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; chief Specialist of Construction Department; **53 Central Design Institute**; 101D b.2 Mira Prospect, Moscow, 129085, Russian Federation; 4155599@gmail.com.

Contribution of the authors:

Zaven G. Ter-Martirosyan — scientific supervising, conceptualization.

Kirill A. Filippov — derivation of formulas, carrying out calculations and comparative analysis, writing text and preparing images, final conclusions.

The authors declare no conflict of interest.

Включение ортотропных плит настила в работу несущих конструкций мостов из алюминиевых сплавов

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

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Рассмотрен вопрос включения ортотропной плиты настила из алюминиевого сплава ENAW-6082 T6 в работу несущих мостовых балок. Данный тип плит изготавливается методом экструзии составных элементов плиты в виде пустотелых стержней замкнутого жесткого профиля необходимой формы с последующей сваркой методом трения с перемешиванием. В результате изготовления с помощью указанных технологий ортотропная плита представляет собой прочную и жесткую металлическую конструкцию, которая может быть эффективно включена в работу несущих конструкций пролетного строения моста, что позволяет уменьшить расход материалов на их производство.

Материалы и методы. Объект исследования — условный однопролетный автодорожный мост длиной 8,06 м с двумя несущими двутавровыми балками, пятью поперечными двутавровыми прогонами и настилом из четырех ортотропных плит, размещенных перпендикулярно оси моста. Для определения численных параметров изменения расхода материала при различных вариантах использования ортотропных плит в конструкциях настила моста проведено численное моделирование конструкции. Моделирование производилось в ПК ANSYS для трех моделей: модель, в которой ортотропные плиты настила не включены в работу несущих балок; модель с ортотропными плитами, включенными в работу несущих балок, и модель с несущими балками с оптимизированными размерами сечений и плитами, также включенными в работу балок.

Результаты. Полученные результаты вычислений представлены в виде эпюр напряжений и прогибов вдоль несущих балок, эпюр напряжений в сечениях несущих балок в середине пролета. Приведено сравнение результатов для различных расчетных схем. Экономия металлоемкости конструкции с ростом длины пролета в пределах 8–24 м уменьшается и составляет соответственно 25–7 %.

Выводы. Отражены результаты исследования, оценена эффективность данного подхода в проектировании мостовых конструкций, сделано заключение о том, при каких пролетах конструкций рассмотренный подход будет наиболее эффективным.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: мост, алюминиевый сплав, несущая конструкция, сечение, несущая балка, ортотропная плита, выносливость, методика расчета, напряжение

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Коргин А.В., Ермаков В.А., Зейд Килани Л.З. Включение ортотропных плит настила в работу несущих конструкций мостов из алюминиевых сплавов // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 7. С. 882–896. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.7.882-896

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

Getting orthotropic deck plates involved in the structural performance of the bearing structures of bridges made of aluminum alloys

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 deals with getting an orthotropic deck plate, made of aluminum alloy EN-AW-6082 T6, involved in the structural performance of bearing structures of bridges; this type of plates is made by extruding composite plate elements, or hollow rods having closed rigid profiles of the pre-set shape, friction welding and mixing. These technologies are applied to make an orthotropic plate, a strong rigid metal structure that can be effectively integrated into the structural performance of bearing structures of a bridge superstructure to reduce the consumption of materials.

Materials and methods. The object of the study is a conventional single-span road bridge, which is 8.06 m long. The bridge has two bearing I-beams, five transverse I-beams and a deck made of four orthotropic plates placed perpendicular to

the bridge axis. The numerical simulation of this structure was conducted to determine the numerical parameters of a change in the consumption of materials for various applications of orthotropic plates in bridge deck structures. The ANSYS software package was employed to simulate the following three models: a model in which orthotropic plates were not involved in the structural performance; a model that had orthotropic plates involved in the structural performance, and a model that had optimized geometric dimensions of sections of principal bearing beams and plates involved in the structural performance.

Results. The calculation results are provided in the form of diagrams of stresses and deflections along the bearing beams, the diagram of stresses in the cross-sections of bearing beams in the middle of the bridge span. Compared results of various calculation patterns are also provided. The amount of metal saved goes down with an 8–24 m increase in the span length, and it reaches 25–7 %, respectively.

Conclusions. The authors present their research findings, evaluate the effectiveness of this approach applied to the design of bridge structures, and make a conclusion about the spans of structures that make this approach most effective.

KEYWORDS: bridge, aluminum alloy, bearing structure, cross-section, bearing beam, orthotropic plate, endurance, method of analysis, stress

FOR CITATION: Korgin A.V., Ermakov V.A., Zeyd Kilani L.Z. Getting orthotropic deck plates involved in the structural performance of the bearing structures of bridges made of aluminum alloys. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2022; 17(7):882-896. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.7.882-896 (rus.).

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

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с положениями действующей нормативной документации РФ по проектированию мостов из традиционных материалов (сталь, железобетон, дерево)¹ решение о включении конструкций настила в совместную работу с несущими конструкциями моста принимается руководством проекта. Подобное решение позволяет снизить расход материалов несущих конструкций пролетного строения (балки, прогоны, фермы), но в большинстве случаев из-за сложности конструктивного обеспечения совместной работы принимается решение об обеспечении несущей способности моста только несущими конструкциями пролетного строения без учета работы конструкций настила, что идет в общий запас прочности [1–5]. При этом ортотропные плиты настила мостов служат только для передачи эксплуатационных нагрузок на несущие конструкции пролетного строения и не включаются в совместную работу с ними. Ортотропные плиты при этом подвергаются отдельному расчету для обеспечения собственной несущей способности под действием вертикальной составляющей эксплуатационных нагрузок, а собственный вес плит только добавляется в состав нагрузок, действующих на несущие мостовые конструкции.

Современные конструкционные материалы, такие как алюминиевые сплавы [6–13], все шире применяются в последнее время в мостостроении благодаря уникальности ряда физико-механических свойств, а именно:

- низкий удельный вес сравнительно с другими металлами;
- высокая удельная прочность, превышающая удельную прочность стали и бетона;
- технологичность изготовления конструктивных элементов разнообразной формы;

- легкость транспортировки и монтажа крупногабаритных фрагментов;

• их применение в мостостроении позволяет за счет конструктивных мероприятий эффективно использовать прочностной резерв ортотропных плит в работе несущих конструкций пролетного строения моста, частично разгружая их, и тем самым заметно снижая расход материалов на изготовление несущих конструкций моста [14–16];

- положения нормативного документа РФ по проектированию мостов из алюминиевых сплавов², разработанного и продолжающего в настоящее время совершенствоваться силами НИУ МГСУ, позволяют проводить проектирование мостов с включением ортотропных плит настила в работу несущих конструкций пролетного строения за счет особенностей изготовления плит с использованием современных инновационных технологий, а именно:

1) экструдирование (продавливание через матрицу) составных элементов плиты в виде пустотелых стержней замкнутого жесткого профиля необходимой формы [17, 18];

2) формирование в единое целое конструкции плиты путем соединения составных элементов методом низкотемпературной сварки трения с перемешиванием практически без образования остаточных сварных напряжений [19–21].

В результате изготовления с помощью данных технологий ортотропная плита представляет собой прочную и жесткую металлическую конструкцию, которая может быть эффективно включена в работу несущих конструкций пролетного строения моста, что позволяет уменьшить расход материалов на их изготовление.

Приведенные ниже исследования на примере конструкций условного однопролетного моста из алюминиевого сплава иллюстрируют данную возможность.

¹ СП 35.13330.2016. Мосты и трубы.

² СП 443.1325800.2019. Мосты с конструкциями из алюминиевых сплавов. Правила проектирования.

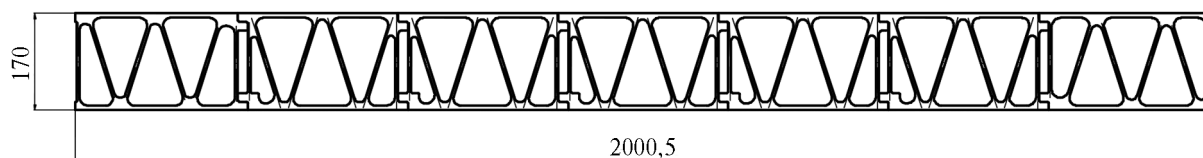


Рис. 1. Составное сечение ортотропной плиты

Fig. 1. Cross section of an orthotropic plate

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследований

1. *Ортотропная плита* спроектирована НИУ МГСУ на основании детальных МКЭ расчетов, представляет собой конструкцию из семи экструдированных из алюминиевого сплава EN AW-6082 T6 секций двух типов (крайний, средний)³. Секции соединены между собой сваркой трением с перемешиванием (СТП) в стыковых узлах верхнего и нижнего поясов плиты (рис. 1).

Длина плиты — 4000 мм, ширина — 2000 мм, высота — 170 мм. Толщина верхнего и нижнего поясов плиты — 8 мм, толщина вертикальных и наклонных ребер — 5 мм. Двойные вертикальные ребра и утолщения краев в сварных зонах обеспечивают исключение локальных деформаций в процессе сварки. Данные размеры были также обоснованы расчетами плиты на выносливость, проведенными с помощью разработанной в НИУ МГСУ методики [22].

Партия из 10 плит, изготовленная заводами «КраМЗ» и «Сеспель», была подвергнута в испытательном центре НИУ МГСУ на первом этапе статическим испытаниям сосредоточенной нагрузкой до 840 кН; плиты длиной 4 м выдержали данную нагрузку, приложенную в центре пролета по двум пятнам контакта размерами 120 × 320 мм (расстояние между пятнами 120 мм), многократно превышающую нормативные значения³, без образования пластических деформаций.

На втором этапе плиты с различными типами дорожного покрытия (без покрытия, асфальтобетонное покрытие, тонкослойное полимерное покрытие) подверглись испытаниям на выносливость в нормативном диапазоне $2 \cdot 10^6$ циклов нагружения, которые плиты выдержали без образования усталостных трещин³.

Проведенные расчеты и результаты статических и усталостных испытаний продемонстрировали существенные запасы плит по прочности и выносливости, что также подтверждается зарубежными исследованиями [23, 24]. Это открывает перспективные возможности для включения плит в совместную работу с несущими конструкциями пролетных строе-

ний, что позволит частично разгрузить последние и получить экономию материала при их изготовлении.

2. *Условный однопролетный автодорожный мост* с двумя несущими двутавровыми балками Б1, пятью поперечными двутавровыми прогонами Б2 и настилом из четырех ортотропных плит, размещенных перпендикулярно оси моста, все элементы моста изготавливаются из алюминиевого сплава EN AW-6082 T6 (рис. 2, 3).

Пролет моста — 8,06 м, расстояние между осями балок — 5 м, шаг прогонов — 2,015 м, длина плит — 5,34 м, ширина плит — 2000,5 мм. Дорожное покрытие — слой литого асфальтобетона толщиной 10 см.

Сбор нагрузок и расчет несущей балки моста

1. Несущая балка Б1.

Площадь поперечного сечения $A = 0,03188 \text{ м}^2$.

Момент сопротивления $W_x = 0,0110816 \text{ м}^3$.

Момент инерции $J_x = 0,006094891 \text{ м}^4$.

Вес погонного метра $P_1 = 86,08 \text{ кг}$.

Вес двух балок длиной $L = 8,06 \text{ м}$, $P_\Sigma = 1378,28 \text{ кг}$.

Расчетная нагрузка от веса балок $1378,28 \times 1,05 \times 9,81 = 14\,187 \text{ Н}$.

2. Поперечный прогон Б2.

Площадь поперечного сечения $A = 0,0045 \text{ м}^2$.

Вес погонного метра $P_1 = 12,15 \text{ кг}$.

Вес пяти балок длиной $L = 5,0 \text{ м}$, $P_\Sigma = 303,75 \text{ кг}$.

Расчетная нагрузка от веса балок $303,75 \times 1,05 \times 9,81 = 3129 \text{ Н}$.

3. Ортотропная плита.

Вес плиты $P_1 = 867 \text{ кг}$.

Общий вес четырех плит $P_\Sigma = 3468 \text{ кг}$.

Расчетная нагрузка от веса плит $3468 \times 1,05 \times 9,81 = 35\,722 \text{ Н}$.

4. Покрытие из литого асфальтобетона (толщина 10 см, объемный вес $\gamma = 2400 \text{ кг/м}^3$).

Площадь покрытия $A = 8,06 \cdot 5,34 = 43,04 \text{ м}^2$.

Общий вес покрытия $P_\Sigma = 43,04 \cdot 0,1 \cdot 2400 = 10\,330 \text{ кг}$.

Расчетная нагрузка от веса покрытия $10\,330 \times 1,1 \times 9,81 = 111\,471 \text{ Н}$.

5. Нагрузка от автотранспорта².

Вес четырехосного грузовика $P_\Sigma = 41\,600 \text{ Н}$.

Расчетная нагрузка от веса грузовика $41\,600 \times 1,5 \times 1,4 = 873\,838 \text{ Н}$.

6. Погонная нагрузка на одну несущую балку Б1.

³ Технический отчет по заказу АО «Русал ТД» о выполнении работ на тему: «Разработка свода правил “Мосты с конструкциями из алюминиевых сплавов. Правила проектирования”» в рамках программы мероприятий по расширению действия и актуализации свода правил на автодорожные мосты, М.: НИУ МГСУ, 2020. 540 с.

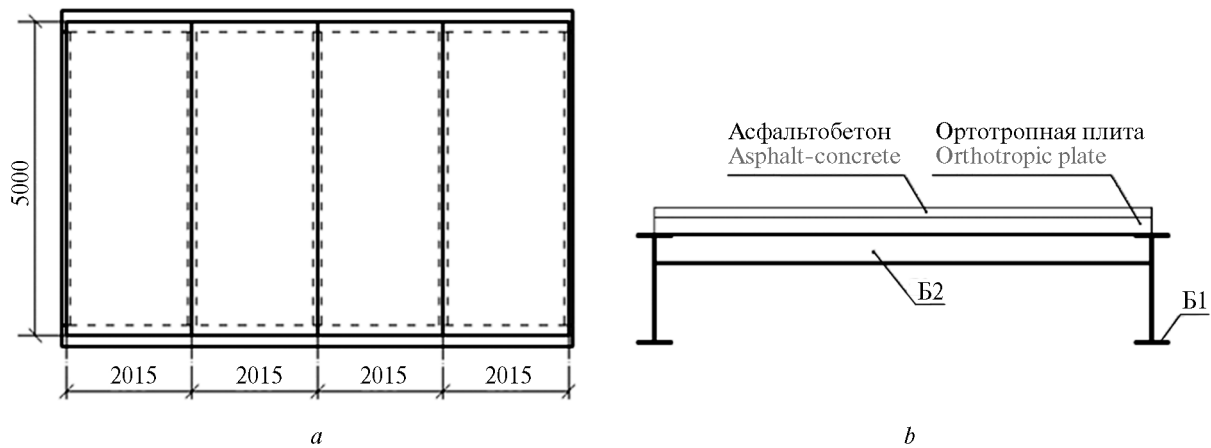


Рис. 2. План (а) и разрез (b) условного автодорожного моста из сплава EN AW-6082 T6

Fig. 2. Plan (a) and section (b) of a conventional road bridge made of alloy EN AW-6082 T6

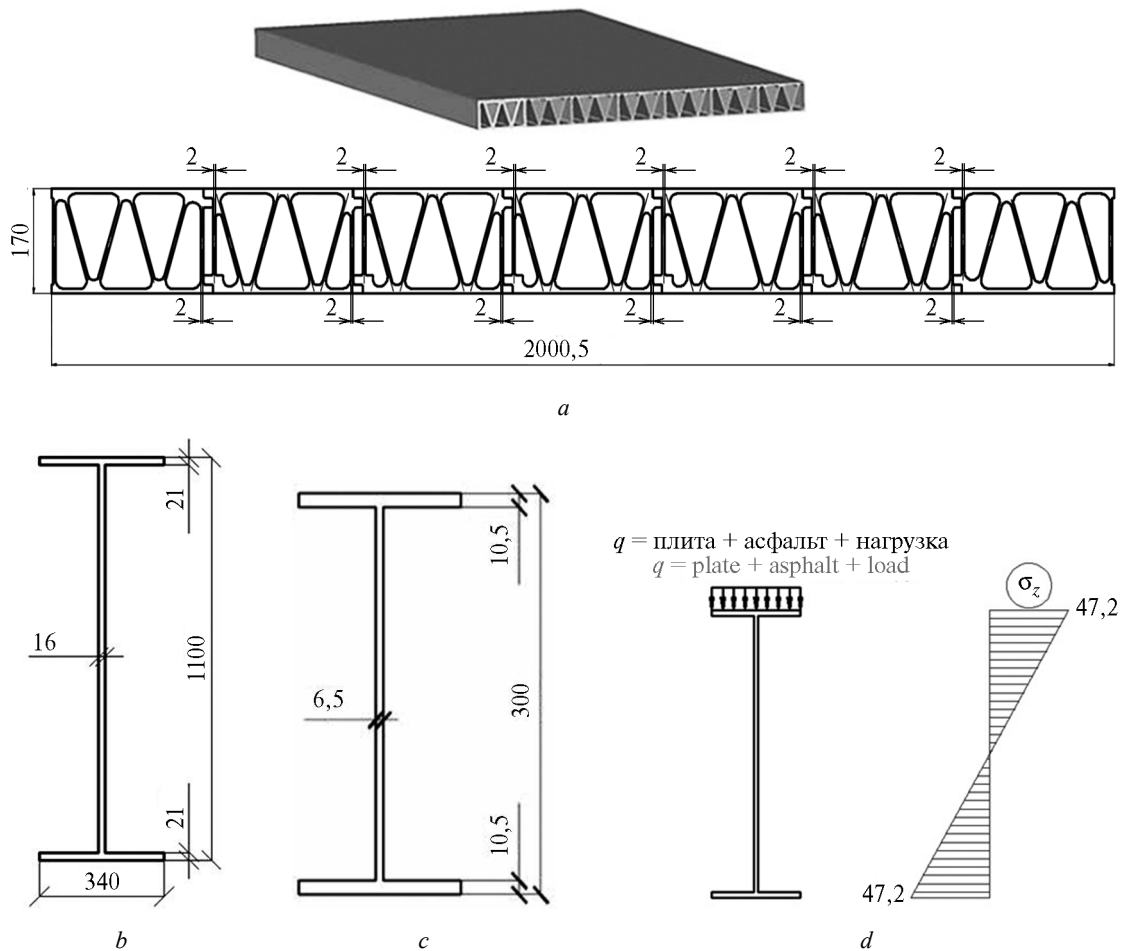


Рис. 3. Сечение ортотропной плиты (а); сечение главной балки (b); сечение второстенной балки (c); эпюра напряжений главной балки (d)

Fig. 3. Cross section of an orthotropic plate (a); cross section of the main beam (b); cross section of a secondary beam (c); stress distribution in the cross section of the main beam (d)

Суммарная нагрузка на балку $P_{\Sigma 1} = (14\,187 + 3129 + 35\,722 + 111\,471 + 873\,838)/2 = 519\,174$ Н.

Расчетная погонная нагрузка на одну балку $q = 519\,174/8,06 = 64\,414$ Н/м.

7. Изгибающий момент в середине пролета.

$$M_x = \frac{ql^2}{8} = \frac{64\,414 \cdot 8,06^2}{8} = 523\,068 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

8. Нормальные напряжения в середине пролета.

$$\sigma_{\max} = \frac{523\,068}{0,0110816} = 47\,201\,487 \text{ Па} = 47,20 \text{ МПа.}$$

9. Прогиб в середине пролета.

$$y_{\max} = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot J} = \frac{5 \cdot 64\,414 \cdot 8,06^4}{384 \cdot 7 \cdot 10^{10} \cdot 0,00609489} = 0,008296 \text{ м} = 8,3 \text{ мм.}$$

Условие выносливости для автодорожных мостов из алюминиевых сплавов, испытывающих многократные циклические воздействия от движения автотранспорта, является основным критерием, определяющим обеспечение несущей способности в течение заданного срока службы, при этом условия прочности и жесткости удовлетворяются с запасом [22].

По этой причине для данного условного автодорожного моста, изготавливаемого из сплава EN AW-6082 T6, максимальные положительные значения цикла нормальных (растягивающих) напряжений при фактическом коэффициенте асимметрии цикла $r = 0,17$ (исходя из величины собственного веса конструкций с учетом покрытия из асфальтобетона и величины меняющейся полезной нагрузки) для данной конструкции моста и действующих нагрузках не должны превышать 50 МПа^{2, 3}. Исходя из этого значения были предварительно подобраны сечения несущих балок.

Ожидаемый характер изменения распределения напряжений в сечении несущей балки при включении ортотропных плит в совместную работу с несущими балками, полученный на основании результатов ручного расчета, представлен на рис. 4.

1. При использовании несущей способности только несущей балки без включения в ее работу ортотропной плиты эпюра напряжений в несущей балке симметрична.

2. При сохранении размеров сечения несущей балки эпюра напряжений перестает быть симметричной, нейтральная ось сместится вверх, максимальные значения напряжений в крайних волокнах снизятся.

3. При изменении размеров сечения несущей балки с целью сохранения симметричной формы эпюры напряжений для более эффективного использования работы сжатой зоны составного сечения достигается эффект уменьшения расхода материала для несущей балки.

Расчет модели моста в программном комплексе ANSYS

Для определения численных параметров изменения расхода материала при различных вариантах использования ортотропных плит в конструкциях настила моста было проведено численное моделирование условного однопролетного автодорожного моста мостового пролета длиной 8,06 м с двумя несущими балками двутаврового сечения, соединенными поперечными прогонами.

Расчету в программном МКЭ комплексе ANSYS подвергались три варианта численной пространственной модели моста:

- расчетная схема 1, ортотропные плиты настила не включены в работу, нагрузка воспринимается балочной клеткой;
- расчетная схема 2, ортотропные плиты включены в работу, нагрузка воспринимается всеми конструктивными элементами моста;
- расчетная схема 3 аналогична расчетной схеме 2, но геометрические размеры сечений несущих балок оптимизированы (уменьшены) за счет включения в работу ортотропных плит.

Моделирование закрепления плит к балкам с помощью болтов осуществлялось путем объединения перемещений (по трем координатам X, Y, Z) узлов балки и плиты в зоне расположения болта, обеспечивая их совместное перемещение и передачу усилий. Болты были установлены в каждом ручье ортотропной плиты с шагом ≈ 150 мм.

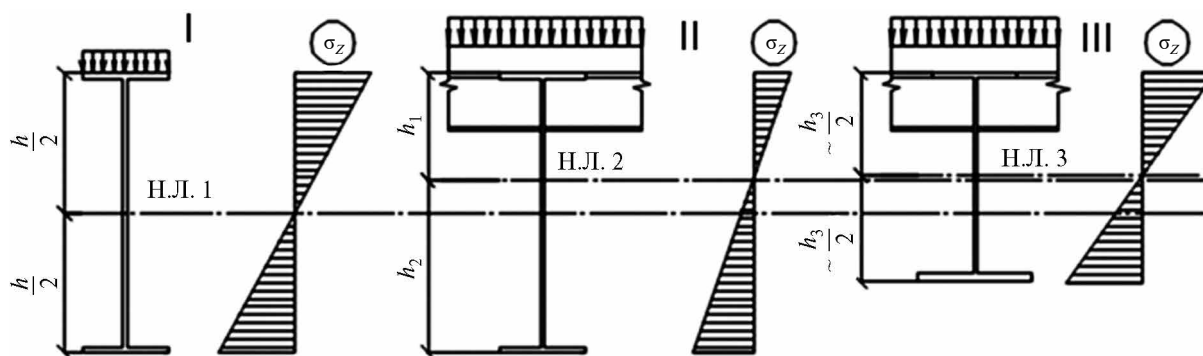


Рис. 4. Влияние эффекта включения плит в совместную работу с несущей балкой на характер распределения напряжений в сечении

Fig. 4. The effect of involvement of the plates in the joint performance together with the bearing beam on the distribution of stresses in the cross-section

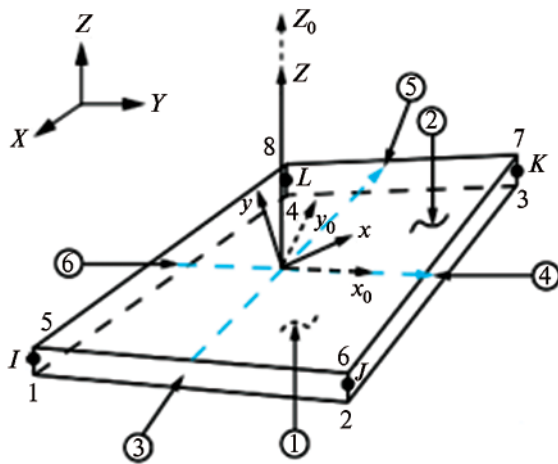


Рис. 5. Плоский конечный элемент SHELL 181

Fig. 5. 2D finite element SHELL 181

Опирающие ортотропные плиты на второстепенные балки производилось путем объединения только перемещений по вертикальной оси (ось Y).

Моделирование плит и балок выполнялось при помощи плоских элементов типа SHELL 181 (рис. 5) с заданием соответствующих толщин, элемент имеет четыре узла с шестью степенями свободы в каждом (перемещения по x , y , z и вращения вокруг осей x , y , z). Фрагмент конечно-элементной модели ортотропной плиты представлен на рис. 6.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Расчетная схема 1

Расчетная схема 1 представляет собой балочную клетку (несущие балки и прогоны), нагрузка воспринимается только балками клетки (рис. 7).

Нагрузка: вес плит, вес асфальтобетонного покрытия, эксплуатационная нагрузка — вес тяжелого грузовика (рис. 7). Собственный вес балочной клетки в системе ANSYS учитывается автоматически.

Эпюра напряжений по сравнению с результатом ручного расчета перестает быть кососимметричной за счет включения в работу прогонов, значения максимальных растягивающих напряжений по этой же причине снижаются на 6 % по сравнению с результатами ручного расчета, приведенными на обобщенной эпюре (рис. 8).

Распределение напряжений в сечениях по длине несущей балки, прогибы балки вдоль оси моста и фактическое распределение нормальных напряжений по высоте несущей балки в срединном сечении показаны на рис. 9–11.

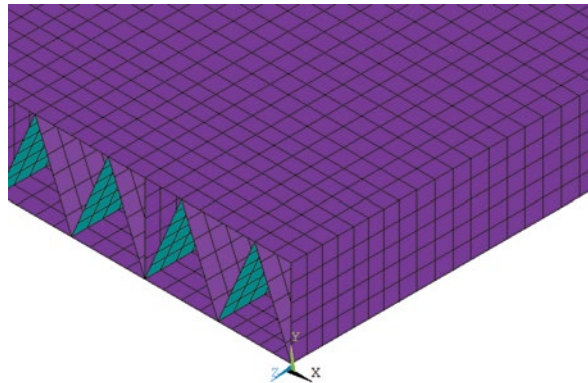


Рис. 6. Фрагмент конечно-элементной модели ортотропной плиты

Fig. 6. Fragment of a finite element model of an orthotropic plate

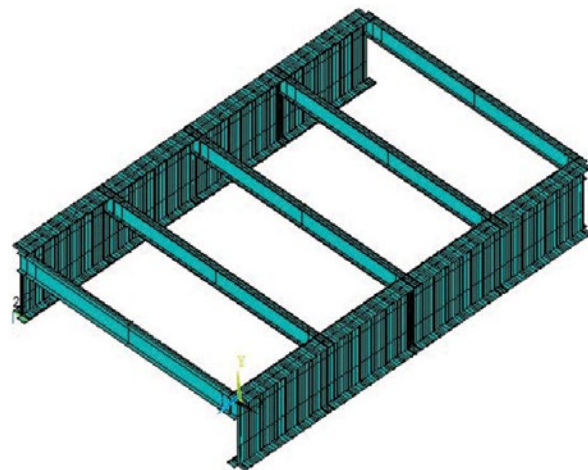


Рис. 7. Общий вид модели балочной клетки

Fig. 7. General view of the model of a beam grid

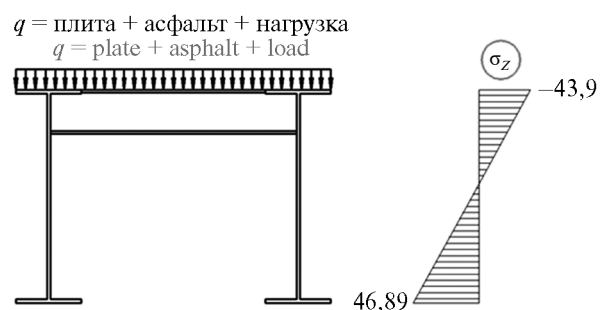


Рис. 8. Схема нагружения балочной клетки и обобщенная эпюра напряжений по высоте сечения несущей балки

Fig. 8. The loading pattern and a generalized stress diagram along the height of the cross-section of the bearing beam

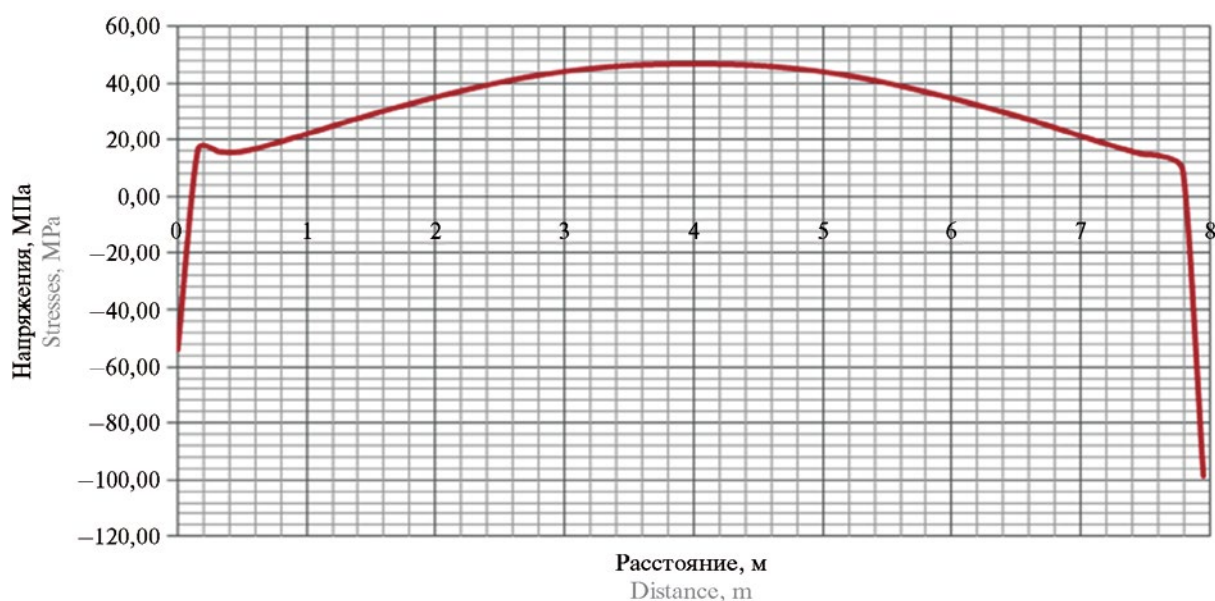


Рис. 9. Распределение максимальных нормальных напряжений по длине несущей балки

Fig. 9. Distribution of maximum normal stresses along the length of the bearing beam

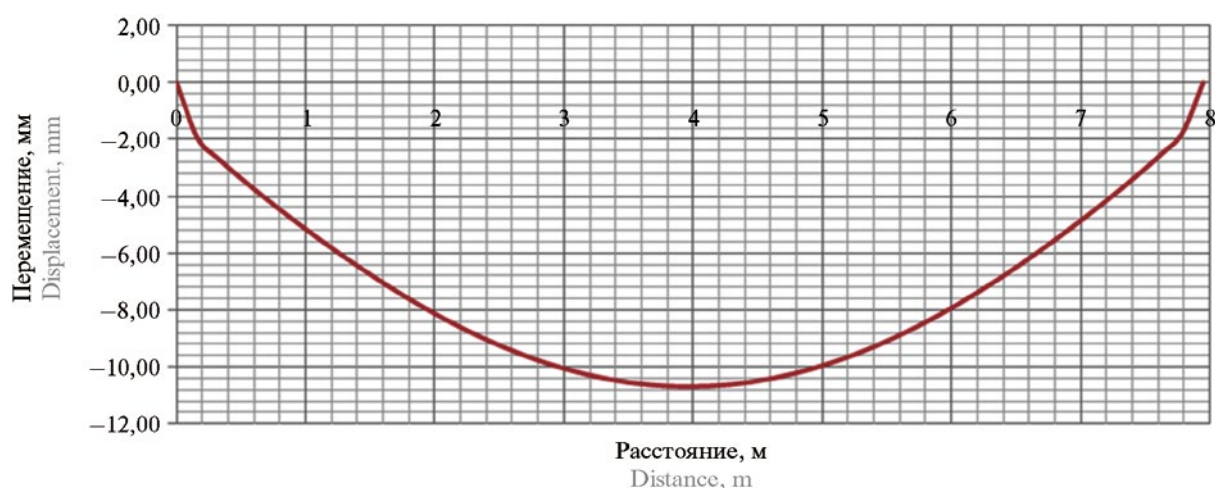


Рис. 10. Распределение прогибов по длине несущей балки

Fig. 10. Distribution of deflections along the length of the bearing beam

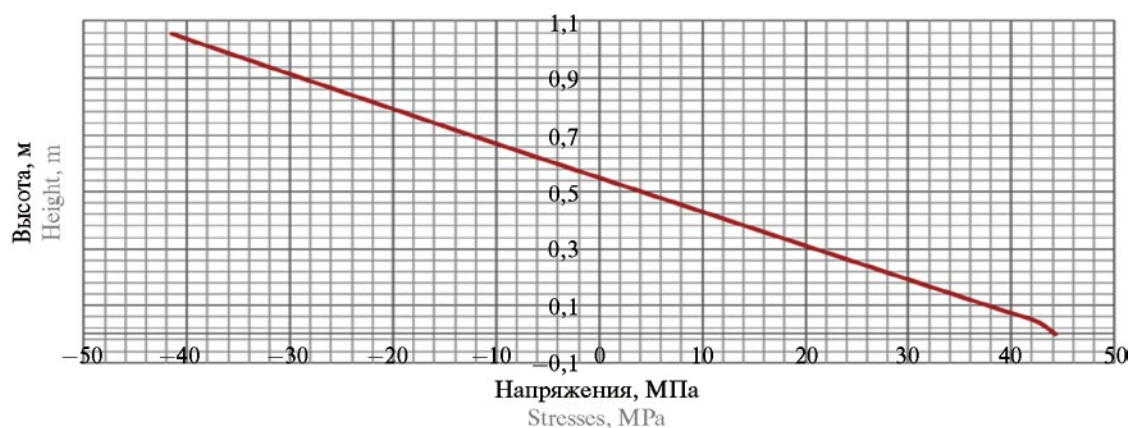


Рис. 11. Распределение фактических нормальных напряжений по высоте несущей балки в середине пролета

Fig. 11. Distribution of normal stresses along the height of the bearing beam in the middle of the span

Расчетная схема 2

Расчетная схема 2 представляет собой балочную клетку, соединенную с ортотропными плитами настила болтовыми креплениями для включения плит в работу, нагрузка воспринимается всеми конструктивными элементами моста (рис. 12).

Нагрузка: вес асфальтобетонного покрытия, эксплуатационная нагрузка — вес тяжелого грузовика (рис. 13).

Значения напряжений существенно уменьшаются, эпюра нормальных напряжений еще более пере-

стает быть кососимметричной за счет включения в работу ортотропных плит, значения максимальных растягивающих напряжений по сравнению с результатами ручного расчета снижаются на 13,5 % (рис. 13).

Распределение напряжений в сечениях по длине несущей балки, прогибы балки вдоль оси моста и фактическое распределение нормальных напряжений по высоте несущей балки в срединном сечении представлены на рис. 14–16, максимальные напряжения и прогибы сведены в табл. 1.

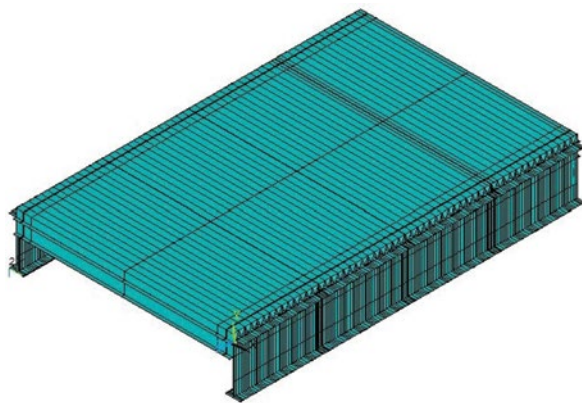


Рис. 12. Общий вид модели моста с включенными в ее состав ортотропными плитами

Fig. 12. General view of the bridge model having orthotropic plates

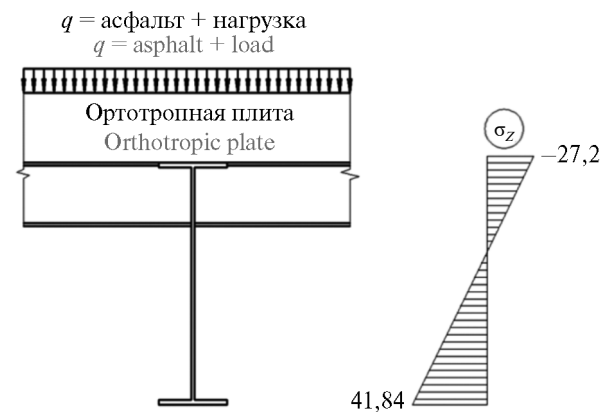


Рис. 13. Схема нагружения балочной клетки и обобщенная эпюра напряжений по высоте сечения несущей балки

Fig. 13. A loading pattern and a generalized stress diagram along the height of the cross-section of the bearing beam

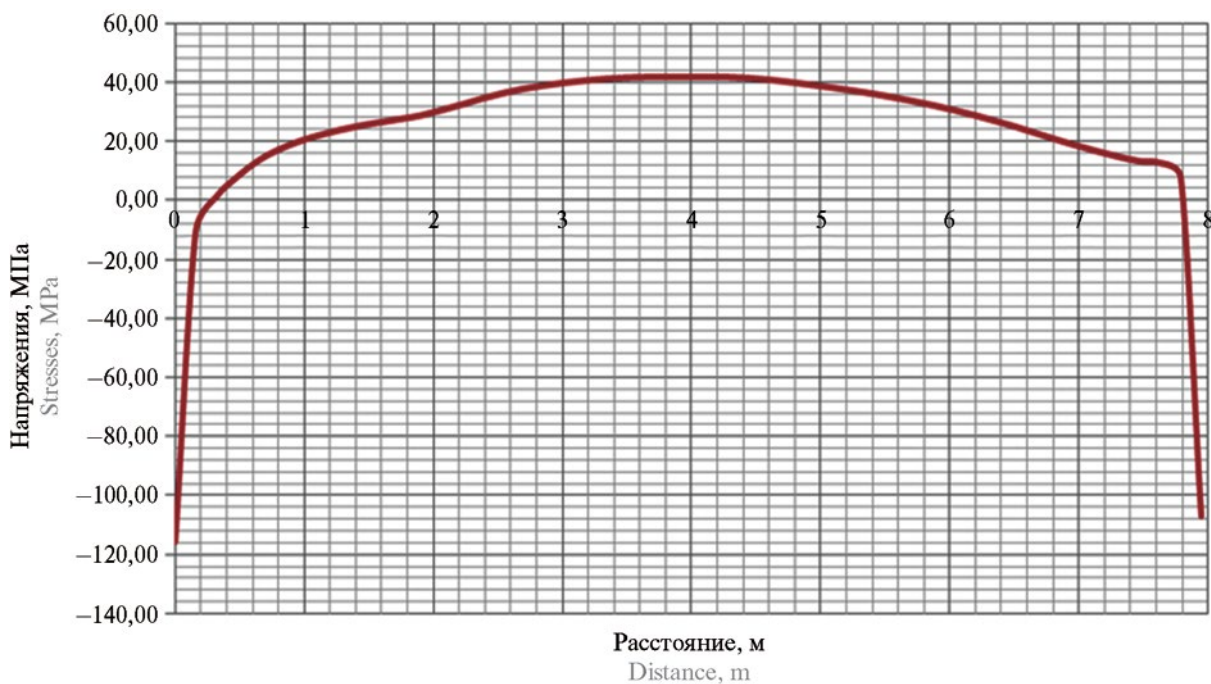


Рис. 14. Распределение максимальных нормальных напряжений по длине несущей балки

Fig. 14. Distribution of maximum normal stresses along the length of the bearing beam

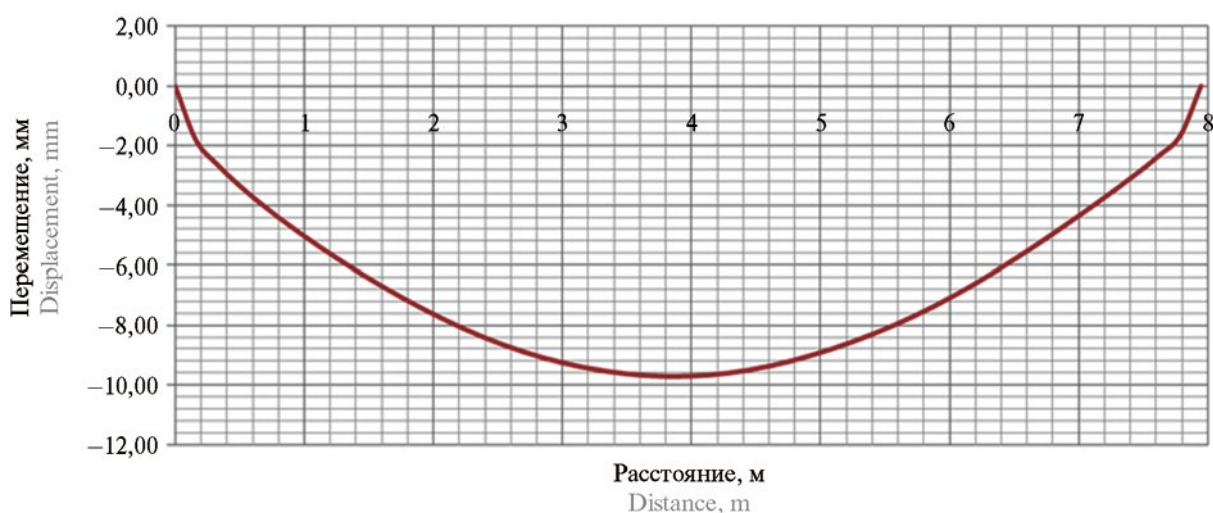


Рис. 15. Распределение прогибов по длине несущей балки

Fig. 15. Distribution of deflections along the length of the bearing beam

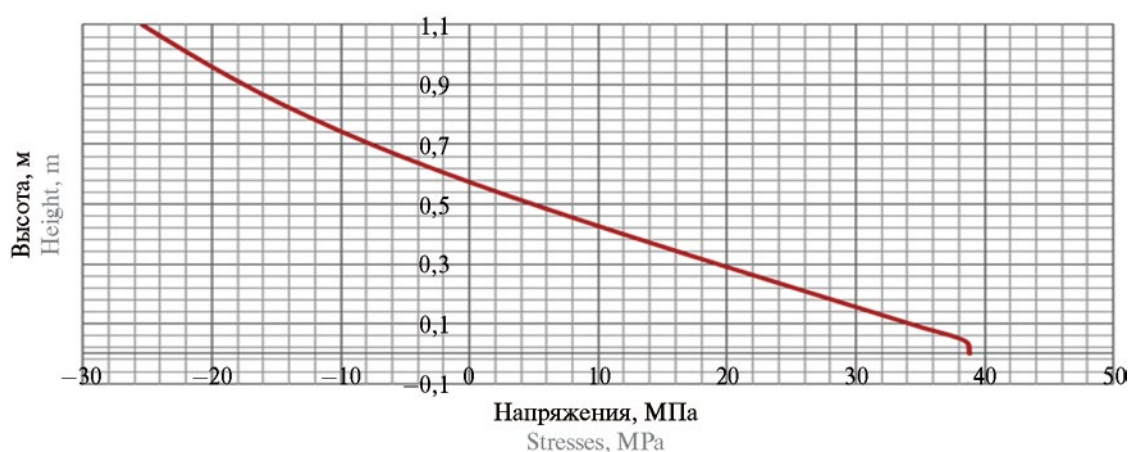


Рис. 16. Распределение фактических нормальных напряжений по высоте несущей балки в середине пролета

Fig. 16. Distribution of actual normal stresses along the height of the bearing beam in the middle of the span

Табл. 1. Сравнение напряжений и прогибов балки Б1 при ручном и численном расчетах

Table 1. Comparison of stresses and deflections in beam B1 in cases of manual and numerical calculations

Параметр Parameter	Ручной расчет Manual calculation	ANSYS		
		PC1 только балки PC1 Beams only	PC2 балки и плиты PC2 Beams and plates	Процент снижения значений Percent reduction in values
Максимальные напряжения, МПа Maximal stresses, MPa	47,2	46,89	41,84	11
Прогиб, мм Deflection, mm	8,17	10,69	9,71	9

Расчетная схема 3

Расчетная схема 3 эквивалентна расчетной схеме 2 (рис. 11) по составу, общей геометрии моста и нагрузкам, но размеры сечений несущих балок оптимизированы с целью переноса нейтральной оси вниз по сечению для обеспечения условия непревы-

шения значений максимальных растягивающих напряжений предельного значения 50 МПа. Площадь нижнего пояса увеличена на 40 %, высота сечения уменьшена на 34 %, площадь стенки уменьшена на 77 %. Площадь сечения несущей балки при этом уменьшается на 25 %.

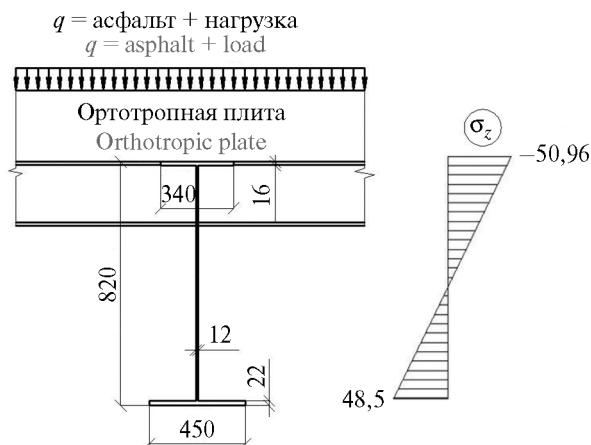


Рис. 17. Схема нагружения балочной клетки с оптимизированными размерами сечения несущих балок и обобщенная эпюра напряжений по высоте сечения несущей балки

Fig. 17. Loading model with optimized dimensions of the cross-section of bearing beams and a generalized stress diagram along the height of the cross-section of the bearing beam

Эпюра напряжений приблизилась к симметричной, значения напряжений в верхнем и нижнем поясе становятся приблизительно одинаковыми по абсолютной величине и находятся в пределах 50 МПа с отклонениями 2–3 % (рис. 17). Площадь сечения $A = 0,02374 \text{ м}^2$; момент инерции $J_x = 0,006978 \text{ м}^4$; момент сопротивления $W_x = 0,011215 \text{ м}^3$.

Максимальные напряжения, прогибы и площади сечений приведены в табл. 2, распределение напряжений в сечениях по длине несущей балки, прогибы балки вдоль оси моста и фактическое распределение нормальных напряжений по высоте несущей балки в срединном сечении представлены на рис. 18–20.

Оценка влияния длины пролета моста на эффективность включения ортотропных плит настила в работу несущих конструкций моста

С целью проведения данной оценки были рассмотрены расчетные схемы мостов с пролетами 8, 12, 16, 20 и 24 м с учетом совместной работы несущих балок и ортотропных плит настила. Размеры сечений несущих балок оптимизированы.

Табл. 2. Сравнение параметров исходной и оптимизированной балки Б1

Table 2. Compared parameters of the original and optimized beam B1

Параметр Parameter	Балка Б1 исходная Original beam B1	Балка Б1 оптимизированная Optimized beam B1	Процент изменения значений Percent change in values
Максимальные напряжения, МПа Maximum stresses, MPa	47,2	48,5	2,7
Прогиб, мм Deflection, mm	8,17	17,3	111
Площадь, м^2 Area, м^2	0,032	0,024	–25

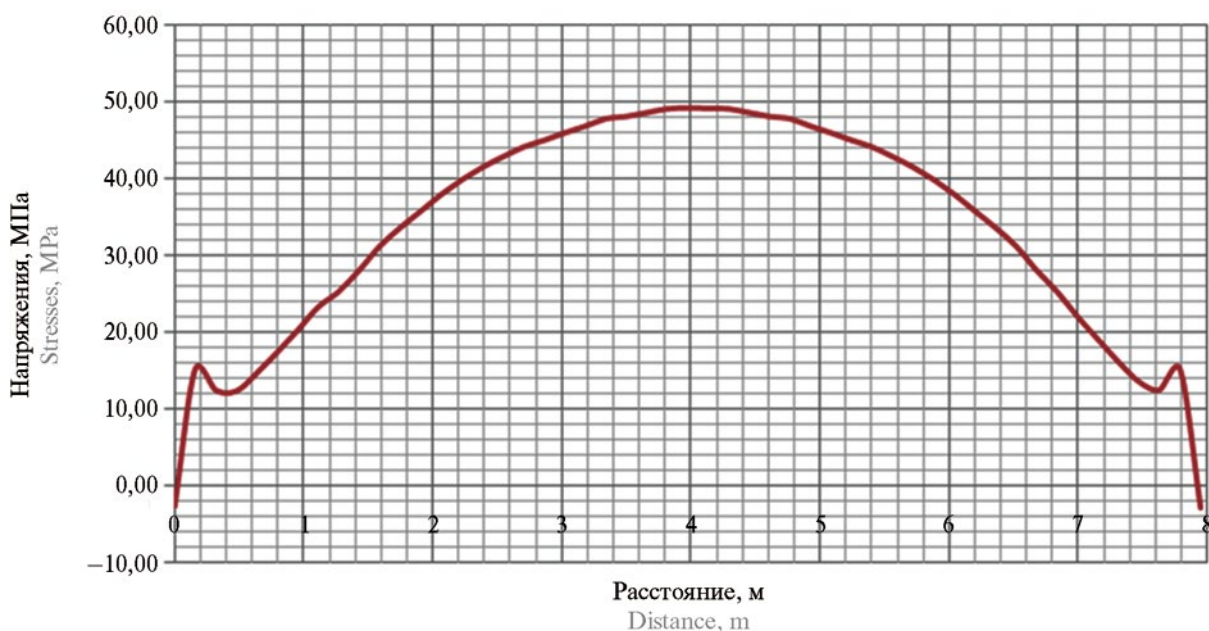


Рис. 18. Распределение максимальных нормальных напряжений по длине несущей балки

Fig. 18. Distribution of maximum normal stresses along the length of the bearing beam

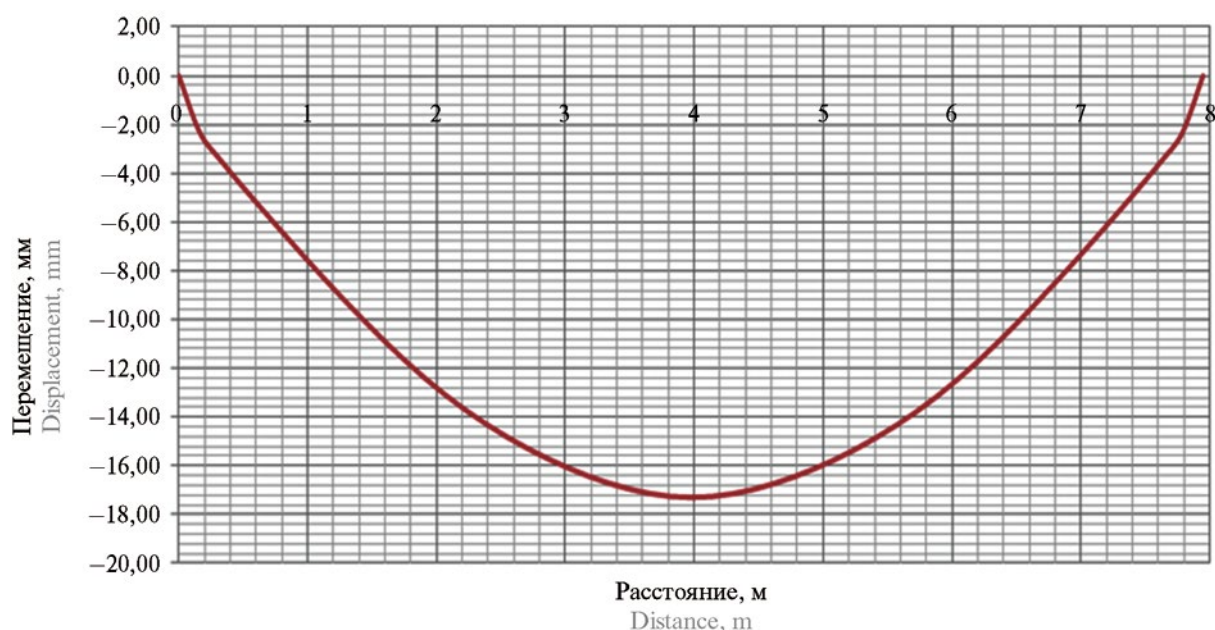


Рис. 19. Распределение прогибов по длине несущей балки

Fig. 19. Distribution of deflections along the length of the bearing beam

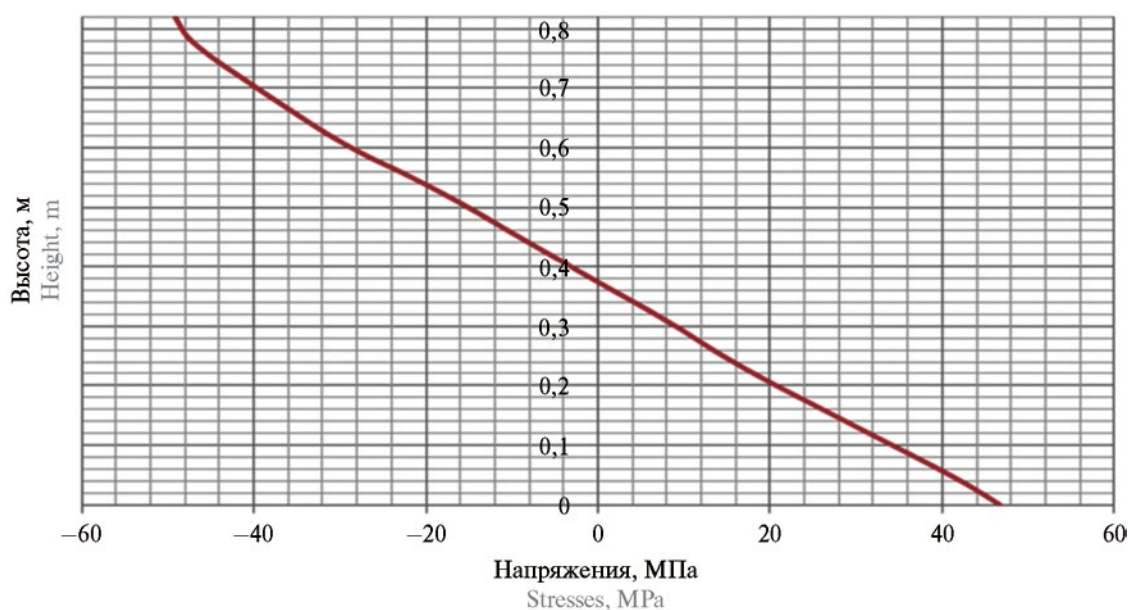


Рис. 20. Распределение фактических нормальных напряжений по высоте несущей балки в середине пролета

Fig. 20. Distribution of actual normal stresses along the height of the bearing beam in the middle of the span

В результате проведенных расчетов для различных расчетных схем (пролет 8, 12, 16, 20, 24 м) получен график снижения расхода материала несущей балки от ее пролета при включении в работу ортотропных плит (рис. 21).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Опирающие ортотропные плиты настила производится на верхний балочный пояс пролетного строения

моста, состоящий из продольных несущих балок и поперечных прогонов. При условии обеспечения прочного болтового соединения верхнего пояса несущей балки с опирающейся на него ортотропной плитой последняя включится в работу верхнего пояса балки и сместит вверх нейтральную линию составного сечения. Это изменит характер распределения напряжений в сечении, снизит их максимальные значения в крайних волокнах, что позволит уменьшить расход материала для изготовления несущей балки.

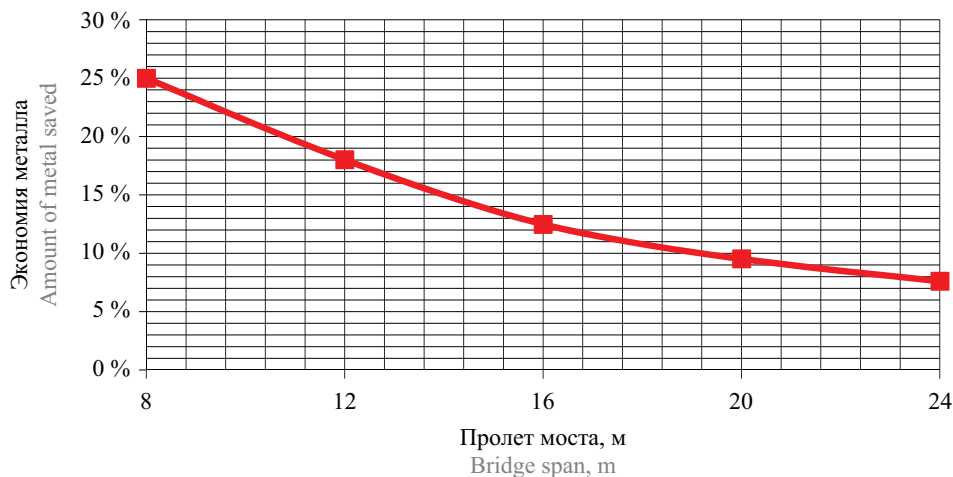


Рис. 21. График снижения расхода материала на изготовление несущих балок в зависимости от длины пролета моста
Fig. 21. Reduction in the material consumption for the manufacture of bearing beams depending on the length of the bridge span

Дальнейшая оптимизация формы и размеры сечения несущей балки с целью сохранения кососимметричной формы эпюры напряжений, приводящей к более эффективному использованию сжатой зоны сечения, даст возможность в еще большей степени снизить расход материала на изготовление несущей балки.

Включение ортотропных плит в работу балочной клетки без изменения размеров поперечных сечений несущих балок при пролете моста 8 м позволяет достичь экономии в расходе материала до 11 %.

Включение ортотропных плит в работу балочной клетки с соответствующими оптимизацией и уменьшением размеров сечения несущих балок при пролете 8 м позволяет достичь экономии в расходе материала до 25 %.

При увеличении пролета моста с 8 до 24 м процент потенциальной экономии материала снижается

с 25 до 7 % вследствие того, что геометрические параметры сечений несущих балок с увеличением длины пролета растут, а соответствующие параметры ортотропных плит остаются неизменными.

При пролетах больше 24 м при балочном решении несущих мостовых конструкций эффект экономии будет еще ниже, что в совокупности с необходимостью контроля прогибов моста¹ может привести к дальнейшему снижению и даже к бесполезности эффекта экономии материала, поэтому для таких пролетов целесообразно рассматривать пространственные решения несущих мостовых конструкций (фермы, арки), при которых эффект экономии материала может быть достигнут за счет включения ортотропных плит в работу элементов пролетного строения, на которые опираются ортотропные плиты настила.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бузыкаева Е.С. Совместная работа железобетонных плит перекрытий и стальных балок // Молодой ученый. 2016. № 27 (131). С. 57–60.
2. Кинжитаева А. Применение и расчет сталежелезобетонных конструкций в российской и зарубежной практике (обзор) // Инновации. Наука. Образование. 2021. № 45. С. 157–166.
3. Лыкова А.В., Абашиева Л.П. Анализ способов объединения бетона и стали в сталежелезобетонных мостах // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2016. Т. 2. С. 86–91.
4. Уткин В.А., Кобзев П.Н. О совершенствовании конструктивно-технологических форм плитно-ребристых пролетных строений из клееной древесины // Вестник Сибирского государственного автомо-
5. бильно-дорожного университета. 2019. Т. 16. № 1 (65). С. 76–88. DOI: 10.26518/2071-7296-2019-1-76-89
5. Каранетов Э.С., Атанов А.В. Анализ существующих способов включения стали и железобетона в совместную работу // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2018. Т. 15. № 4. С. 592–604.
6. Грищенко Н.А. и др. Механические свойства алюминиевых сплавов : монография. Красноярск : СФУ, 2012. 194 с.
7. Агафонов Р.Ю. Структура и механические свойства сплавов на основе алюминия с добавками редкоземельных металлов : автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2016. 21 с.

8. Рожин А.В. Совершенствование процессов легирования и модифицирования алюминиевых сплавов на основе систем Al-Cu-Mg и Al-Zn-Mg-Cu : дис. ... канд. техн. наук. Екатеринбург, 2013.
9. Жунев К.О., Мурованный Ю.Н., Яшинов А.Н. Исследование усталостной долговечности сварных соединений железнодорожных пролетных строений // Транспортные сооружения. 2020. Т. 7. № 2. С. 4. DOI: 10.15862/06SATS220
10. Ping Hwa. Fatigue behaviour of 6061 aluminium alloy and its composite. Dublin City University, 2001.
11. Коргин А.В., Одесский П.Д., Ермаков В.А., Зейд Килани Л.З., Романац В.А., Королева Е.А. Прочность алюминиевых сплавов для мостостроения // Деформация и разрушение материалов. 2019. № 8. С. 10–19. DOI: 10.31044/1814-4632-2019-8-10-19
12. Korgin A.V., Romanets V.A. Fatigue strength of aluminum alloy structures // IOAB Journal. 2020. Vol. 11. Issue S2. Pp. 1–10.
13. Korgin A.V., Odesskii P.D., Ermakov V.A., Zeid Kelani L.Z., Romanets V.A., Koroleva E.A. Strength of aluminum alloys for bridge building // Russian Metallurgy (Metally). 2020. Issue 4. Pp. 373–382. DOI: 10.1134/S003602952004014X
14. Бородкина В.В., Рыжова О.В., Улас Ю.В. Перспективы развития алюминиевого производства в России // Фундаментальные исследования. 2018. № 12–1. С. 72–77. DOI: 10.17513/fr.42354
15. Трищенко В.И. Алюминиевые мосты: спрос отстает от предложения // Транспорт Российской Федерации. 2017. № 5 (72). С. 73–78.
16. Коргин А.В., Романац В.А., Ермаков В.А., Зейд Килани Л.З. Перспективы и проблемы применения алюминиевых сплавов при строительстве мостов в Российской Федерации // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. № 9. С. 42–48. DOI: 10.12737/article_5bab4a1a42ee3.23235487
17. Толочко Н.К., Андрушевич А.А., Василевский П.Н., Чугаев П.С. Применение технологии экструзионной 3D-печати в литейном производстве // Литые и металлургия. 2018. № 4. С. 139–144. DOI: 10.21122/1683-6065-2018-4-139-144
18. Oberhausen G., Zhu Y., Cooper D. Reducing the environmental impacts of aluminum extrusion // Resources, Conservation and Recycling. 2022. Vol. 179. P. 106120. DOI: 10.1016/j.resconrec.2021.106120
19. Астафьева Н.А., Бузин А.С. Исследование влияния видов предварительной обработки на качество сварных облегченных конструкций из алюминиевых сплавов // Вестник ИрГТУ. 2018. Т. 22. № 7 (138). С. 10–18. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-7-10-18
20. Овчинников В.В., Парфеновская О.А., Губин А.М. Влияние режима сварки трением с перемешиванием на прочность стыковых соединений алюминиевого сплава 1565ч // Технология металлов. 2020. № 7. С. 23–32. DOI: 10.31044/1684-2499-2020-0-7-23-32
21. Дриц А.М., Нурждин В.Н., Овчинников В.В., Конюхов А.Д. Исследование усталостной долговечности основного материала и сварных соединений листов из сплава 1565ч // Цветные металлы. 2015. № 12 (876). С. 88–93. DOI: 10.17580/tsm.2015.12.17
22. Коргин А.В., Романац В.А., Зейд Килани Л.З., Ермаков В.А. Особенности проектирования ортотропных алюминиевых плит дорожного настила // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования : сб. докл. 2020. С. 88–94.
23. Siwowski T. FEM modelling and analysis of a certain aluminium bridge deck panel // Archives of Civil Engineering. 2009. Vol. 3. Pp. 347–365.
24. Patton G. Aluminum orthotropic deck research report // Archive Florida Department of Transportation. 2017. 52 p.

Поступила в редакцию 24 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, заведующий научно-исследовательской лабораторией инженерных исследований и мониторинга строительных конструкций (НИЛ ИИМСК); **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ);** 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 350779, ResearcherID: B-4206-2016, ORCID: 0000-0002-5865-2891; Korguine@mgssu.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@mgssu.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; Zeydkilani@mgssu.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. Buzykaeva E.S. Collaboration of reinforced concrete floor slabs and steel beams. *Young Scientist*. 2016; 27(131):57-60. (rus.).
2. Kinzhitaeva A. Application and calculation of steel-reinforced concrete structures in Russian and foreign practice (review). *Innovation. The science. Education*. 2021; 45:157-166. (rus.).
3. Lykova A.V., Abasheva L.P. Analysis of ways to combine concrete and steel in steel-concrete composite bridges. *Modern Technologies in Construction. Theory and Practice*. 2016; 2:86-91. (rus.).
4. Utkin V.A., Kobzev P.N. On perfection of constructive and technological forms of plate and ribbed transfer structures from glued timber. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2019; 16(1):(65):76-88. DOI: 10.26518/2071-7296-2019-1-76-89 (rus.).
5. Karapetov E.S., Atanov A.A. Analysis of existing methods of incorporation of steel and reinforced concrete in combined action. *Proceedings of Petersburg Transport University*. 2018; 15(4):592-604. (rus.).
6. Grishchenko N.A. et al. *Mechanical properties of aluminum alloys : monograph*. Krasnoyarsk, SFU, 2012; 194. (rus.).
7. Agafonov R.Yu. *Structure and mechanical properties of aluminum-based alloys with additives of rare earth metals : abstract dis. ... candidate of technical sciences*. Moscow, 2016; 21. (rus.).
8. Rozhin A.V. *Improving the processes of alloying and modifying aluminum alloys based on Al-Cu-Mg and Al-Zn-Mg-Cu systems : dissertation of candidate of technical sciences*. Yekaterinburg, 2013. (rus.).
9. Zhunev K.O., Murovannyj J.N., Yashnov A.N. Fatigue life research of welded joints in railway girder. *Transport Structures*. 2020; 7(2):4. DOI: 10.15862/06SATS220 (rus.).
10. Ping Hwa. *Fatigue behaviour of 6061 aluminium alloy and its composite*. Dublin City University, 2001.
11. Korgin A.V., Odesskii P.D., Ermakov V.A., Zeid L.Z., Romanets V.A., Koroleva E.A. Strength of aluminum alloys for bridge building. *Deformation and Fracture of Materials*. 2019; 8:10-19. DOI: 10.31044/1814-4632-2019-8-10-19 (rus.).
12. Korgin A.V., Romanets V.A. Fatigue strength of aluminum alloy structures. *IIOAB Journal*. 2020; 11(S2):1-10.
13. Korgin A.V., Odesskii P.D., Ermakov V.A., Zeid Kelani L.Z., Romanets V.A., Koroleva E.A. Strength of aluminum alloys for bridge building. *Russian Metallurgy (Metally)*. 2020; (4):373-382. DOI: 10.1134/S003602952004014X
14. Borodkina V.V., Ryzhkova O.V., Ulas Yu.V. Prospects for the development of aluminum production in Russia. *Fundamental Research*. 2018; 12-1:72-77. DOI: 10.17513/fr.42354 (rus.).
15. Trishchenko V.I. Aluminum bridges: demand lags behind supply. *Transport of the Russian Federation*. 2017; 5(72):73-78. (rus.).
16. Korgin A.V., Romanets V.A., Ermakov V.A., Zeyd Kilani L.Z. Prospects and problems of using aluminum alloys in the construction of bridges in the russian federation. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2018; 9:42-48. DOI: 10.12737/article_5bab4a1a42eee3.23235487 (rus.).
17. Tolochko N.K., Andrushevich A.A., Vasilevsky P.N., Chugaev P.S. Application of SD-printing extrusion technology in foundry production. *Foundry Production and Metallurgy*. 2018; 4:139-144. DOI: 10.21122/168S-6065-2018-4-1S9-144 (rus.).
18. Oberhausen G., Zhu Y., Cooper D. Reducing the environmental impacts of aluminum extrusion. *Resources, Conservation and Recycling*. 2022; 179:106120. DOI: 10.1016/j.resconrec.2021.106120
19. Astafieva N.A., Buzin A.S. Study of primary machining type influence on the quality of welded lightweight aluminum alloy structures. *Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2018; 22(7):(138):10-18. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-7-10-18 (rus.).
20. Ovchinnikov V.V., Parfenovskaya O.A., Gubin A.M. Influence of conditions of friction welding with mixing on strength of butt joints of aluminum alloy 1565ch. *Russian Metallurgy (Metally)*. 2020; 7:23-32. DOI: 10.31044/1684-2499-2020-0-7-23-32 (rus.).
21. Drits A.M., Nuzhdin V.N., Ovchinnikov V.V., Konyukhov A.D. Study of fatigue durability of the base material and welded joints of 1565h alloy sheets. *Tsvetnye Metally*. 2015; 12(876):88-93. DOI: 10.17580/tsm.2015.12.17 (rus.).
22. Korgin A.V., Romanets V.A., Zeyd Kilani L.Z., Ermakov V.A. Design features of orthotropic aluminum road decking slabs. *Actual problems of the construction industry and education : abstracts*. 2020; 88-94. (rus.).

23. Siwowski T. FEM modelling and analysis of a certain aluminium bridge deck panel. *Archives of Civil Engineering*. 2009; 3:347-365.

24. Patton G. Aluminum Orthotropic Deck Research Report. *Archive Florida Departement of Transportation*. 2017; 52.

Received June 24, 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, Head of the Research Laboratory of Engineering Research and Monitoring of Building Structures (RLERMBS); **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 350779, 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 RSCI: 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 RSCI: 676773, Scopus: 57190731162, ORCID: 0000-0002-9533-8260; Zeydkilanilz@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 obtained, compilation of the source text and final conclusions.

The authors declare that there is no conflict of interests.

БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 504.5 : 628.511.1

DOI: 10.22227/1997-0935.2022.7.897-913

Интегральная экспресс-оценка экологического состояния территорий с использованием аэрозолей

Ирина Юрьевна Глинянова¹, Наталия Васильевна Асанова¹,
Владимир Трофимович Ерофеев², Виктор Васильевич Афонин²

¹ Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ); г. Волгоград, Россия;

² Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева
(МГУ им. Н.П. Огарева); г. Саранск, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Применение интегральной экспресс-оценки экологического состояния территорий на основе показателей аэрозольных суспензий позволяет оперативно, без установки передвижных или стационарных экологических постов, оценивать экологический статус жилых зон населенных пунктов. Предмет исследования: аэрозольные частицы. Цель исследования: интегральная экспресс-оценка экологического состояния жилой зоны рп. Средняя Ахтуба (Волгоградская область) вблизи функционирующих предприятий по производству керамзита на основе аэрозольных показателей: кислотности (рН); удельной электропроводности (ЕС, мкСм/см); токсичности (развитие тест-объектов (Лг, см)); количества частиц и их массовой доли с позиции сверстки нормированных базовых факторов. Задачи исследования: отбор аэрозольных частиц; приготовление аэрозольных суспензий; исследование показателей аэрозольных суспензий; установление экологического статуса территории жилой зоны рп. Средняя Ахтуба.

Материалы и методы. Материалом исследования явились аэрозольные частицы, отобранные с листьев абрикосовых деревьев (*Prunus armeniaca* L.) в жилой зоне рп. Средняя Ахтуба Среднеахтубинского района Волгоградской области, октябрь 2018 г. Отбор аэрозольных частиц и приготовление аэрозольных суспензий осуществлялись на основе международных методик. Изучение показателя кислотности (рН) и удельной электропроводности (ЕС, мкСм/см) происходило на электрохимическом оборудовании серии «МУЛЬТЕСТ» (Россия): иономере (ИПЛ-101-1) и кондуктометре (КСЛ-111) соответственно; исследование токсичности аэрозольных суспензий базировалось на измерении развития тест-объектов (Лг, см); исследование дисперсного состава аэрозольных частиц, их количества и массовой доли осуществлялось по ГОСТ Р 56929-2016.

Результаты. Проведенные исследования позволили установить экологический статус территории жилой зоны рп. Средняя Ахтуба за весну-лето 2018 г. как зоны «экологического кризиса».

Выводы. Требуется выявление источников загрязнений и разработка экологических мероприятий для защиты жилой зоны населенного пункта от аэрозольных частиц диаметром меньше 10 мкм (PM₁₀).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: аэрозоли, кислотность (рН), удельная электропроводность (ЕС, мкСм/см), токсичность, мелкодисперсная пыль (PM₁₀), количество и массовая доля частиц, экологическая оценка

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Глинянова И.Ю., Асанова Н.В., Ерофеев В.Т., Афонин В.В. Интегральная экспресс-оценка экологического состояния территорий с использованием аэрозолей // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 7. С. 897–913. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.7.897-913

Автор, ответственный за переписку: Ирина Юрьевна Глинянова, ecoris@yandex.ru.

Using aerosols to make an integrated rapid assessment of the ecological state of territories

Irina Yu. Glinyanova¹, Natalia V. Asanova¹, Vladimir T. Erofeev², Viktor V. Afonin²

¹ Volgograd State Technical University (VolgSTU); Volgograd, Russian Federation;

² National Research Ogarev Mordovia State University (MRSU); Saransk, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Indicators of aerosol suspensions, used to make an integrated rapid assessment of the ecological state of territories, allow quickly assessing the ecological status of residential areas of settlements without installing mobile or stationary ecological posts. Aerosol particles are the subject of this study. The purpose of the study is an integrated rapid assessment of the ecological state of the residential area of the Srednyaya Akhtub settlement (the Volgograd region) located in close proximity to operating enterprises, engaged in the production of expanded clay. The following aerosol indicators are employed to achieve this goal: acidity (pH); specific electrical conductivity (EC, $\mu\text{S}/\text{cm}$); toxicity (development of tested

objects (Lr, cm)); the number of particles and their mass fraction from the perspective of convolution of normalized basic factors. The research objectives include sampling of aerosol particles; preparation of aerosol suspensions; study of indicators of aerosol suspensions; identification of the ecological status of the territory of the residential area of the Srednyaya Akhtuba settlement.

Materials and methods. The studied material is the aerosol particles taken from the surface of the leaves of apricot trees (*Prunus armeniaca* L.) in the residential area of Srednyaya Akhtuba, Sredneakhtubinskiy district, Volgograd region, October 2018. The sampling of aerosol particles and the preparation of aerosol suspensions were carried out using international methods. The study of the acidity index (pH) and specific electrical conductivity (EC, $\mu\text{S/cm}$) was carried out using the electrochemical equipment of the MULTEST series (Russia): an ion meter (IPL-101-1) and a conductometer (KSL-111), respectively. The study of the toxicity of aerosol suspensions was based on measuring the development of tested objects (Lr, cm); the study of the dispersed composition of aerosol particles, their quantity and mass fraction were carried out according to GOST R (All-Russian State Standard) 56929-2016.

Results. The studies allowed assigning the ecological status of "an environmental crisis" to the territory of the residential area in Srednyaya Akhtuba as of the spring and summer of 2018.

Conclusions. Sources of pollution must be identified and environmental actions must be developed to protect the residential area of the settlement from aerosol particles with a diameter of less than 10 microns (PM_{10}).

KEYWORDS: aerosols, acidity (pH), electrical conductivity (EC, $\mu\text{S/cm}$), toxicity, fine dust (PM_{10}), number and mass fraction of particles, environmental assessment

FOR CITATION: Glinyanova I.Yu., Asanova N.V., Erofeev V.T., Afonin V.V. Using aerosols to make an integrated rapid assessment of the ecological state of territories. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2022; 17(7):897-913. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.7.897-913 (rus.).

Corresponding author: Irina Yu. Glinyanova, ecoris@yandex.ru.

ВВЕДЕНИЕ

На территории РФ осуществляется государственный экологический мониторинг, который позволяет выявлять качество атмосферного воздуха на урбанистических территориях, используя экологические посты. Проведенный анализ существующей единой системы государственного экологического мониторинга в Волгоградской области позволил обнаружить, что функционирующая географическая сеть экологических постов в регионе в настоящее время не дает возможности охватить в полной мере все без исключения жилые зоны населенных пунктов с должной оценкой их экологического состояния. В связи с чем в поле зрения государственных экологических служб могут не попадать те жилые зоны, на которых периодически складывается неблагоприятная ситуация, а экологический мониторинг отсутствует, источник загрязнения не ясен, защитные экологические мероприятия для населения не проводятся, что может быть причиной для развития определенных видов заболеваний и сказываться на благополучии жителей региона. Соответственно, актуальной темой исследования явилась оценка экологического состояния тех жилых зон, которые расположены вблизи промышленных объектов, рядом с которыми отсутствуют экологические посты, что ставит под угрозу устойчиво-безопасное развитие населенных пунктов и их территорий.

В сложившейся ситуации функционирующая система экологического мониторинга в Волгоградской области требует совершенствования, внедрения новых методов, способов и подходов к оценке экологического состояния окружающей среды, широкого охвата всех жилых зон населенных пунктов Волгоградской области в обеспечении их экологической безопасности в условиях нагрузки функционирующего городского хозяйства.

Мониторингом экологического состояния территорий занимались многие исследователи. Известны, например, работы авторов, направленные на: оценку городской воздушной среды с использованием данных по показателю массовой концентрации пыли $\text{PM}_{2,5}$ [1]; определение зависимости, которая позволяет определить концентрацию вредных веществ в воздухе для низких источников загрязнения атмосферы (не более 30–40 м) с ориентиром исключительно на выбросы промышленных предприятий и их технологических процессов [2]; исследование загрязнений атмосферы, например, от уже известных антропогенных источников: полигонов захоронения твердых промышленных и бытовых отходов с целью экологического контроля за определенными химическими соединениями [3] и др.

Предлагаемая методика интегральной экспресс-оценки экологического состояния территорий с использованием аэрозолей направлена на оперативную оценку загрязнения атмосферного воздуха в жилых зонах населенных пунктов с использованием комплекса универсальных аэрозольных показателей, которые способны предоставить экологическую экспресс-информацию о токсичности атмосферного воздуха, о наличии в нем мелкодисперсной пыли, кислых, минерализованных примесей и др. с целью выявления экологического статуса территорий и рисков для проживающего населения.

В этой связи для тотального охвата жилых зон населенных пунктов Волгоградской области при оценке загрязнения окружающей среды, в рамках экологического мониторинга, целесообразно применять краткосрочное рекогносцировочное обследование территорий (п. 4.3 РД 52.44.2-94), которое может быть направлено на предварительную и оперативную оценку состояния загрязнения окружающей среды в жилых зонах населенных пунктов без установки

стационарных экологических постов, что будет являться экономически целесообразным мероприятием с целью оценки экологического состояния территорий с последующим проведением там по необходимости уже детальных исследований, выявления источников загрязнения в свете решения проблем устойчивого развития населенных пунктов Волгоградской области.

Для разработки эффективной экспресс-оценки экологического состояния территорий в рамках краткосрочного рекогносцировочного обследования жилых зон населенных пунктов, которые не попали в поле зрения деятельности экологических постов, был произведен анализ научной литературы о влиянии загрязняющих веществ на здоровье человека с целью выявления наиболее опасных веществ, на которые стоило бы обратить внимание при осуществлении экологического мониторинга и которые явились бы основными индикаторами (метриками) загрязнения жилых зон.

В связи с чем было установлено, что наиболее опасными для населения в современном мире являются аэрозольные частицы диаметром меньше 10 мкм (PM_{10}), поскольку они обладают большой площадью поверхности, высокой адсорбционной способностью, физической и химической активностью, тем самым представляя определенную угрозу жизни и здоровья человека при попадании их в организм. Так, обнаружена связь между мелкодисперсной пылью ($PM_{2,5}$, PM_{10}) и смертностью населения в возрасте 65 лет от сердечно-сосудистых заболеваний и органов дыхания в Китае [4]. Показано влияние PM_{10} на госпитализацию детей из-за респираторных заболеваний [5], имеются данные о высоких показателях преждевременной смертности от сердечно-сосудистых и респираторных заболеваний, связанных с PM_{10} и $PM_{2,5}$ в Йезде (Иран) [6]; о краткосрочном влиянии $PM_{2,5}$ и $PM_{2,5-10}$ на смертность среди жителей в крупных городах Южной Кореи [7]. Установлены изменения гематологических параметров, а также окислительный стресс у сельских женщин из племенных районов на северо-востоке Индии, подверженных воздействию PM_{10} и $PM_{2,5}$ [8], рассчитаны ежегодные изменения смертности населения и ожидаемой продолжительности жизни в зависимости от провинции из-за выбросов загрязняющих веществ при выработке электроэнергии, которые генерируют в окружающую среду $PM_{2,5}$ [9]. Исследована зависимость долгосрочного воздействия $PM_{2,5}$ в окружающей среде и хронического заболевания почек у населения [10], доказано в лабораторных экспериментах, что при прямых контактах с $PM_{2,5}$ увеличивается окислительный стресс в различных структурах мозга крыс [11], подтверждено воздействие мелкодисперсной пыли на мозг животных, где выявлено, что $PM_{2,5}$ и PM_{10} в воздухе, например в Лос-Анджелесе, вызывает экспрессию биомаркеров воспаления и рака в мозге крыс [12]. Также приведены

убедительные доказательства связи между длительным воздействием поглощения $PM_{2,5}$ из атмосферного воздуха, которое обусловлено дорожным движением и развитием злокачественных опухолей головного мозга среди городского населения ряда европейских стран (Голландия, Швеция, Италия, Австрия, Дания и др.) [13], определено воздействие $PM_{2,5}$ и PM_{10} на увеличение репликации полиомавируса JC в организме человека [14] и др.

В связи с вышеизложенным, показатель диаметра аэрозольных частиц является важным показателем аэрозолей, по которому выявляется фракционный состав частиц (грубодисперсные аэрозольные частицы ($PM > 10$ мкм), мелкодисперсные аэрозоли ($PM < 10$ мкм) и ультрадисперсные частицы ($PM < 2,5$ мкм)), рассчитывается массовая концентрация частиц в атмосферном воздухе и прогнозируются экологические риски для населения, что, собственно, является одним из направлений экологического мониторинга на государственном уровне как в России, так и за рубежом.

При этом некоторые разработчики современных государственных стандартов (ГОСТ), например ГОСТа Р 54597-2011/ISO/TR 27628:2007, обращают внимание на то, что «воздействие на здоровье, связанное с активностью частиц, возможно, тесно связано с размером частиц, а также с их числом», а не только с массовой концентрацией мелкодисперсной пыли. При этом среди ученых имеются свидетельства того, что знание одной только массовой концентрации не обеспечивает выявления соответствующих рисков для здоровья человека, связанных с вдыханием некоторых аэрозолей. Многие токсикологические исследования свидетельствовали, что при выражении дозы веществ через массу некоторые ультрамелкие вдыхаемые нерастворимые частицы могут быть более токсичными, чем более крупные аналогичного состава [15, 16]. В этой связи ряд авторов привели научные доказательства о развитии ряда заболеваний в организме человека, которые были вызваны именно числом частиц определенного диаметра [17], а не их массовой концентрацией, нормативы которых для аэрозольных частиц установлены в различных странах мира [18].

В связи с вышеизложенным, показатель количества частиц был также включен авторами для оценки экологического состояния жилых зон населенных пунктов.

Для выявления других эффективных показателей аэрозольных частиц был выполнен анализ иных научных исследований, проведенных как в России, так и за рубежом. Так, в аэрозолях исследовались токсиканты [19, 20]; в атмосферных осадках изучались показатели кислотности (рН) и удельной электропроводности (ЕС, мкСм/см): [21–23]. При этом на государственном уровне официальные наблюдения, например, за кислотностью атмосферных осадков в РФ осуществляются регулярно

на 221 станциях [24], и такие наблюдения регламентированы нормативными документами в РФ (РД 52.04.878-2019). Однако подобные экологические исследования территорий возможны при условии, что атмосферных осадков выпадает в регионах в достаточном количестве. На территориях, которые испытывают дефицит дождей, снега и др., целесообразно оценивать загрязнение окружающей среды на основе аэрозольных частиц путем смыва аэрозолей с поверхности листьев городских растений, приготовлением аэрозольных суспензий с последующей их оценкой по показателям pH и ЕС, мкСм/см, однако данный способ не был обнаружен.

При этом за рубежом наблюдается также повышенный интерес к исследованиям, посвященным изучению аэрозольных частиц, отобранных нетрадиционными способами в зеленой инфраструктуре городских и сельских поселений с оценкой их фракционного состава [25–27]; свободных радикалов в аэрозолях [28, 29]; полициклических ароматических углеводородов [30, 31]; нафталина [32]; агрохимикатов, твердых частиц животноводства, птицеводства [33–37]; тяжелых металлов [38, 39]; микроэлементов [40, 41], в том числе минералов [42, 43]; радиоактивной пыли [44, 45].

Обращение большинства зарубежных исследователей к альтернативному инструменту отбора проб аэрозольных частиц из зеленой инфраструктуры урбанистических территорий оправдано тем, что листовые пластинки зеленых насаждений выступают качественными «естественными пробоотборниками» аэрозолей из атмосферного воздуха и являются «пассивными мониторами» качества окружающей среды населенных пунктов, поскольку обладают уникальными способностями аккумулировать и накапливать на поверхности листовых пластинок аэрозольные частицы с различными химическими элементами и их соединениями из разнообразных источников окружающей среды в течение нескольких дней, недель, месяцев, сезонов, года и более в зависимости от вида растительных сообществ (листопадные или вечнозеленые растения), что представляет несомненную ценность при оценке экологической ситуации в исследуемом районе как за краткосрочный период (весна–лето), так и за длительный период пребывания аэрозольных частиц на листьях растений.

Исходя из анализа аэрозольных показателей, применяемых исследователями в различных странах мира, авторами был сделан вывод, что для интегральной экспресс-оценки экологического состояния территорий целесообразно использовать следующие основные аэрозольные показатели (метрики):

- диаметр частиц (d_q , мкм) позволяет выявлять опасные аэрозоли в окружающей среде, если $d_q < 10$ мкм;
- количество мелкодисперсных частиц (N_{PM10} , %) и их массовая доля ($D(d_{PM10})$, %) указывают на аэро-

зольную нагрузку и наличие металлических примесей в окружающей среде;

- токсичность аэрозолей определяется по развитию тестовых культур (Lr, см) в среде токсикантов;
- кислотность (pH) аэрозолей демонстрирует наличие кислых или щелочных примесей в окружающей среде;
- удельная электропроводность (ЕС, мкСм/см) аэрозолей отражает общую минерализацию.

Указанные метрики, исходя из их свойств, могут предоставлять оперативную информацию о загрязнении окружающей среды, осуществлять экспресс-оценку экологического состояния территории любой жилой зоны населенного пункта.

В связи с вышеизложенным, целью работы явилась интегральная экспресс-оценка экологического состояния жилой зоны рп. Средняя Ахтуба на основе комплекса показателей (метрик или базовых факторов) аэрозольных суспензий (смыв аэрозолей с листьев дистиллированной водой): кислотности (pH); удельной электропроводности (ЕС, мкСм/см); токсичности (развитие тест-объектов (Lr, см)); количества частиц (N_{PM10} , %) и их массовой доли ($D(d_{PM10})$, %) с позиции свертки нормированных базовых факторов по Колмогорову – Нагумо. Задачи исследования: отбор аэрозольных частиц на листьях абрикосовых деревьев (*Prúnus armeniaca* L.); приготовление аэрозольных суспензий; анализ показателей аэрозольных суспензий; установление экологического статуса территории жилой зоны рп. Средняя Ахтуба; разработка интегральной оценки экологического состояния территории на основе комплекса аэрозольных показателей (метрик или базовых факторов): кислотности; удельной электропроводности; токсичности; количества и массовой доли мелкодисперсных частиц в жилой зоне населенного пункта Средняя Ахтуба Среднеахтубинского района Волгоградской области в условиях техногенной нагрузки предприятий строительной индустрии (керамзитовые производства).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом исследования явились аэрозольные частицы, отобранные с листьев абрикосовых деревьев (*Prúnus armeniaca* L.) в жилой зоне рп. Средняя Ахтуба Среднеахтубинского района Волгоградской области, октябрь 2018 г. Отбор аэрозольных частиц и приготовление аэрозольных суспензий осуществлялось на основе международных методик [46]. Изучение показателя кислотности (pH) и удельной электропроводности (ЕС, мкСм/см) происходило на электрохимическом оборудовании серии «МУЛЬТЕСТ» (Россия): иономере (ИПЛ-101-1) и кондуктометре (КСЛ-111) соответственно; изучение токсичности аэрозольных суспензий осуществлялось на основании развития тест-объектов в аэрозольных суспензиях (патент РФ № 2746764); исследование

дисперсного состава аэрозольных частиц, их количества и массовой доли (по ГОСТ Р 56929-2016).

Интегральная экспресс-оценка экологического состояния территории осуществлялась с позиции свертки нормированных базовых факторов по Колмогорову – Нагумо [47], где базовыми факторами являлись средние значения показателей аэрозольных суспензий: кислотность (рН) (x_1); удельная электропроводность (ЕС, мкСм/см) (x_2); токсичность (развитие живых организмов (Lr, см)) (x_3); количество аэрозольных частиц диаметром меньше 10 мкм (N_{PM10} , %) (x_4) и их массовая доля ($D(d_{PM10})$, %) (x_5). Получаемые значения данных по каждому из вышеприведенных аэрозольных показателей проверялись на однородность выборок, согласно методике проверки гипотезы об однородности нескольких выборок ($N > 2$) по критерию Краскела – Уоллиса.

Диапазоны изменений базовых факторов, определение границ значений аэрозольных показателей, например показателя кислотности (рН) и удельной электропроводности (ЕС, мкСм/см), основывались на официальных данных Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (ФГБУ «Главная геофизическая обсерватория А.И. Воейкова»), Санкт-Петербург, Россия [48]: за лучшее значение принимаются значения рН 5,5–6,5, за худшие значения: крайне кислая среда (рН = 3,5) и крайне щелочная среда (рН = 8,5).

Диапазон изменения показателя развития тест-объектов (Lr, см) и установление границ данного показателя определяются на основании данных исследований зарубежных авторов, базирующихся на известных международных методиках по изучению указанного показателя и его нормировки [49], где за идеальное значение показателя (Lr, см) принималось значение $4,36 \pm 0,23$ см и более. За худшее значение указанного показателя принималось значение 0 см.

Диапазоны изменений других базовых факторов (аэрозольных показателей), определение границ значений этих показателей, например показателя количества аэрозольных частиц (N_{PM10} , %) и массовой доли частиц (D_{PM10} , %), осуществлялось следующим образом: за идеальное значение принималось значение 0 аэрозольных частиц в окружающей среде и, соответственно, значение 0, касаемо их массовой доли. За худшие значения указанных показателей принималось значение 1. При этом единицы измерений показателей количества аэрозольных частиц (N_{PM10} , %) и их массовой доли (D_{PM10} , %) исчислялись не в процентах, а в долях.

В этой связи для интегральной оценки экологического состояния территории были экспертно установлены диапазоны изменений базовых факторов (аэрозольных показателей). Так, считается, что x_i^1 — граница, которую можно определить как отличное или предельно возможное значение; x_i^0 — граница, которую можно определить как минимально допустимое значение. Значение свойств x_i ниже x_i^0 считается невозможным. В табл. 1 приведены значения границ x_i^1 и x_i^0 для каждого элементарного свойства системы (базового фактора), а также подобраны функции (p_1 – p_5) нормировки элементарных свойств в формулах.

Модель интегральной экспресс-оценки экологического состояния территории была реализована в программном пакете R (версия 3.6.1, R CoreTeam 2020) в виде модуля, реализующего последовательность вычислений по формулам. Качественная интегральная экспресс-оценка экологического состояния территории Q определялась сверткой нормированных базовых факторов, соответствующих функциям (p_1 – p_5), характеризующих экологические аспекты, и вычисляется по формуле:

$$Q = -\ln \left(\frac{\alpha_1 e^{-p_1} + \alpha_2 e^{-p_2} + \alpha_3 e^{-p_3} + \alpha_4 e^{-p_4} + \alpha_5 e^{-p_5}}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5} \right), \quad (1)$$

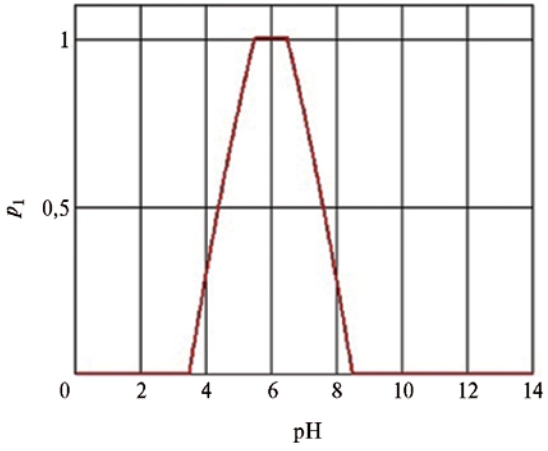
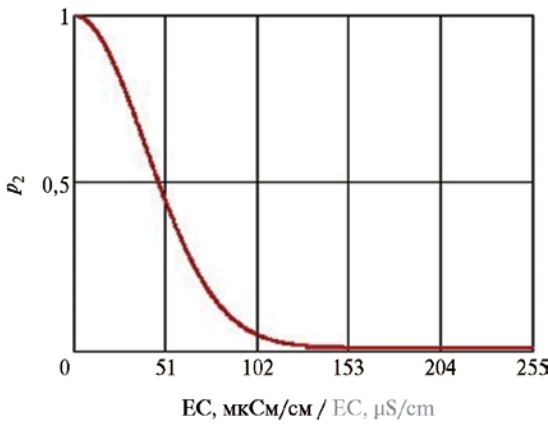
где α_i — весовые коэффициенты, учитывающие значимость частных оценок экологического состояния региона. Весовые коэффициенты выбираются экс-

пертно, в зависимости от оценки ими важности соответствующих факторов; p_1 – p_5 — значения нормирующих функций.

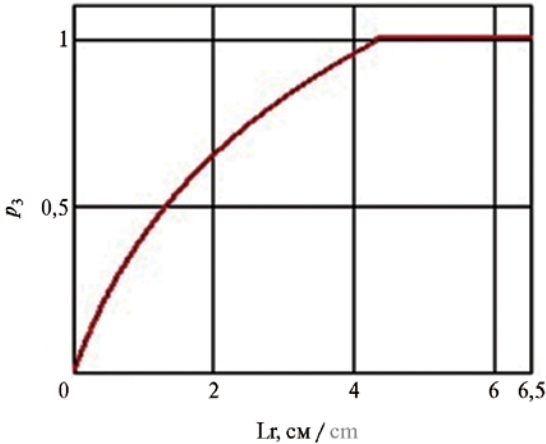
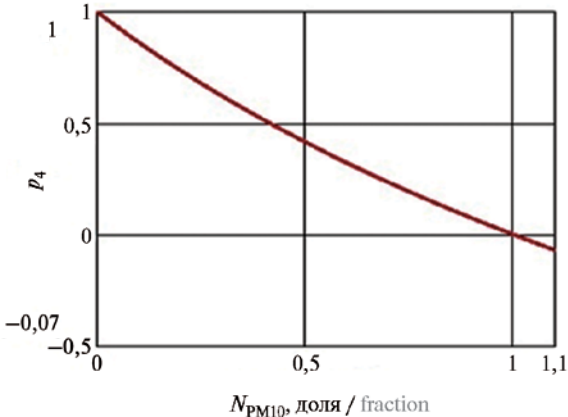
Табл. 1. Функции нормировки базовых факторов

Table 1. Normalization functions of basic factors

x_i	Единицы измерения Unit of measurements	x_i^0	x_i^1	Функция и графики Function and graphs
x_1	lg[H ⁺]; [H ⁺], г-ион/л lg[H ⁺]; [H ⁺], g-ion/l	0 14	7	$p_1 = \begin{cases} 1 & \text{при } 5,5 \leq x_1 \leq 6,5; \\ -0,05x_1^2 + 0,95x_1 - 2,7125 & \text{при } 3,5 \leq x_1 < 5,5; \\ -0,05x_1^2 + 0,25x_1 + 1,48 & \text{при } 6,5 < x_1 \leq 8,5 \end{cases}$ $p_1 = \begin{cases} 1 & \text{if } 5.5 \leq x_1 \leq 6.5; \\ -0.05x_1^2 + 0.95x_1 - 2.7125 & \text{if } 3.5 \leq x_1 < 5.5; \\ -0.05x_1^2 + 0.25x_1 + 1.48 & \text{if } 6.5 < x_1 \leq 8.5 \end{cases}$

x_i	Единицы измерения Unit of measurements	x_i^0	x_i^1	Функция и графики Function and graphs
				 <p>x_1 — среднее значение показателя кислотности аэрозольных суспензий (рН); зависимость кусочно-гладкая. Интервалы и вид функции были выбраны с учетом данных, где за лучшее значение приняты значения рН 5,5–6,5, за худшие значения: крайне кислая среда (рН = 3,5) и крайне щелочная среда (рН = 8,5) [45]</p> <p>x_1 is the mean value of the acidity indicator of aerosol suspensions (pH); this dependence is sectionally smooth. Intervals and types of functions are selected with account taken of the data in which the best values are those of pH equaling 5.5–6.5, while the worst values are pH = 3.5 in the maximally acidic medium and pH = 8.5 in the medium that has a maximal share of alkali [45]</p>
x_2	мкСм/см $\mu\text{S/cm}$	250	0	$p_2 = e^{-\frac{x_2^2}{3200}}$  <p>x_2 — среднее значение показателя удельной электропроводности (ЕС, мкСм/см). Зависимость обратная.</p> <p>За наилучшее значение удельной электропроводности принято значение «0» мкСм/см, за худшее значение 250 мкСм/см [45]. Вид функции подбирался таким образом, чтобы на интервале от 0 до 60 мкСм/см качество уменьшалось медленно, а ухудшение качества происходило очень быстрыми темпами при значениях ЕС > 90 мкСм/см</p> <p>x_2 is the mean value of the indicator of specific electrical conductivity (EC, $\mu\text{S/cm}$). This is a reverse dependence.</p> <p>The best value of specific electrical conductivity is “0” $\mu\text{S/cm}$; its worst value is 250 $\mu\text{S/cm}$ [45]. The function was selected so that within the interval from 0 to 60 $\mu\text{S/cm}$ the quality deteriorates slowly, but it deteriorates very fast if $\text{EC} > 90 \mu\text{S/cm}$</p>

Продолжение табл. 1 / Continuation of the Table 1

x_i	Единицы измерения Unit of measurements	x_i^0	x_i^1	Функция и графики Function and graphs
x_3	см cm	0	4,36	$p_3 = \begin{cases} \frac{1}{\ln(5,36)} \ln(x_3 + 1) & \text{при } x_3 < 4,36; \\ 1 & \text{при } x_3 \geq 4,36 \end{cases}$ $p_3 = \begin{cases} \frac{1}{\ln(5,36)} \ln(x_3 + 1) & \text{if } x_3 < 4.36; \\ 1 & \text{if } x_3 \geq 4.36 \end{cases}$  <p> x_3 — показатель развития тест-объектов (Lr, см); зависимость прямая; за лучшее значение принято Lr = 4,36 см и > за худшее — 0 см x_3 is the development indicator of tested objects (Lr, cm); the dependence is direct, the best value is Lr = 4.36 cm and >; the worst one is 0 cm </p>
x_4	Доля Fraction	1	0	$p_4 = 1 - \frac{1}{\ln(2)} \ln(x_4 + 1)$  <p> x_4 — среднее значение показателя аэрозольных частиц с диаметром в диапазоне от 0 до 10 мкм (N_{PM10}). Зависимость обратная. За идеальное значение принято значение «0» x_4 is the mean value of the indicator of aerosol particles having the diameter from 0 to 10 μm (N_{PM10}). The dependence is reverse. “0” is the ideal value </p>

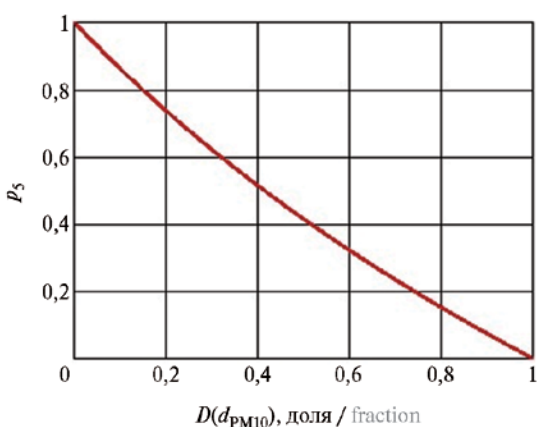
x_i	Единицы измерения Unit of measurements	x_i^0	x_i^1	Функция и графики Function and graphs
x_5	Доля Fraction	1	0	$p_5 = 1 - \frac{1}{\ln(2)} \ln(x_5 + 1)$  <p>x_5 — среднее значение показателя массовой доли аэрозольных частиц с диаметром в диапазоне от 0 до 10 мкм ($D(d_{PM10})$). Зависимость обратная. За идеальное значение принято значение «0»</p> <p>x_5 is the mean value of the indicator of the fraction of aerosol particles having the diameter of 1 to 10 μm ($D(d_{PM10})$). The dependence is reverse. "0" is taken as an ideal value</p>

Табл. 2. Интегральная экспресс-оценка экологического состояния территории

Table 2. An integrated rapid assessment of the ecological state of the territory

Оценка экологического состояния территории Q Assessment of the ecological state of the territory Q	Баллы Score	Возможные изменения флоры и фауны Possible changes in flora and fauna	Экологический статус территорий Ecological status of territories
0,83–1	0	Отсутствуют None	Экологическая норма Environmental standard
0,66–0,83	1	Слабые Slight	
0,5–0,66	2	Угнетение роста Suppressed growth	Зона риска Zone of risk
0,33–0,5	3	Угнетение роста и гибель Suppressed growth and death	Зона кризиса Zone of crisis
0,17–0,33	4		Зона экологического бедствия Ecological disaster zone
0–0,17	5	Гибель Death	

Качественная интегральная экспресс-оценка экологического состояния территории Q с установлением ее экологического статуса определялась в соответствии с табл. 2, которая была разработана на основе данных качественной оценки состояния окружающей природной среды в некоторой ее модификации.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Установление значений базовых факторов производилось на основе расчета средних значений показателей аэрозольных суспензий из жилой зоны рп. Средняя Ахтуба (2018 год).

В табл. 3 представлены описательные статистики исследуемых показателей аэрозольных суспензий,

Табл. 3. Описательные статистики основных показателей аэрозольных суспензий (рН) (x_1-x_5), измеренных на территории жилой зоны (рп. Средняя Ахтуба), 2018 год**Table 3.** Descriptive statistics of the main indexes of aerosol suspensions (x_1-x_5), measured in the residential area (Srednyaya Akhtuba), 2018

Показатели Indicators	Среднее Mean	Стандартная ошибка Standard error	Медиана Median	Мода Mode	Стандартное отклонение Standard deviation	Экссесс Excessive value	Асиммет- ричность Asymmetry	Номер наблюдения Number of observations
рН	4,89	0,0639	4,8	4,6	0,495	–0,206	0,292	60
ЕС, мкСм/см μS/cm	57,945	1,972	49,65	47	15,28	–1,385	0,674	60
Lr, см / cm	3,83	0,072	4,6	0	2,055	–0,625	–0,748	900
N_{PM10} , %	91,5	1,61	94,79	100	12,50	27,47	–4,72	60
$D(d_{PM10})$, %	44,1	3,72	38,1	100	28,78	–0,494	0,667	60

измеренных на территории жилой зоны (рп. Средняя Ахтуба).

При уровне значимости $\alpha = 0,05$ гипотеза об однородности выборок признана значимой. Результаты проверки гипотезы об однородности результатов измерений основных показателей внутри территории жилой зоны (рп. Средняя Ахтуба), 2018 год: по показателю кислотности: ($H = 12,3622$; $Df = 5$; $P\text{-value} = 0,987$); по показателю удельной электропроводности: ($H = 10,682$; $Df = 5$; $P\text{-value} = 0,0721$); по показателю развития тест-объектов: ($H = 27,508$; $Df = 17$; $P\text{-value} = 0,0513$); по показателю количества частиц: ($H = 11,199$; $Df = 5$; $P\text{-value} = 0,078$); по показателю массовой доли частиц: ($H = 12,444$; $Df = 5$; $P\text{-value} = 0,068$).

Получаемые значения данных по каждому их вышеприведенных аэрозольных показателей проверялись на однородность выборок, согласно методике проверки гипотезы об однородности нескольких выборок ($N > 2$) по критерию Краскела – Уоллиса.

В сводной табл. 4 приведены средние значения аэрозольных показателей (базовых факторов) из жилой зоны рп. Средняя Ахтуба, 2018 год.

Расчет нормировки полученных значений базовых факторов в жилой зоне рп. Средняя Ахтуба в 2018 году.

1. Нормируем показатель D_{PM10} , исходное значение 0,44

$$p_1(x) = 1 - \frac{1}{\ln(2)} \ln(x+1) = 1 - \frac{\ln(0,44+1)}{\ln(2)} = 0,474.$$

$$Q_{Cr.Ax} = -\ln \left(\frac{\alpha_1 e^{-p_1} + \alpha_2 e^{-p_2} + \alpha_3 e^{-p_3} + \alpha_4 e^{-p_4} + \alpha_5 e^{-p_5}}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5} \right) =$$

$$= -\ln \left(\frac{e^{-0,474} + e^{-0,063} + e^{-0,35} + e^{-0,778} + e^{-0,934}}{5} \right) = -\ln(0,624) = 0,472.$$

2. Нормируем показатель N_{PM10} , исходное значение 0,915

$$p_2(x) = 1 - \frac{1}{\ln(2)} \ln(x+1) = 1 - \frac{\ln(0,915+1)}{\ln(2)} = 0,063.$$

3. Нормируем показатель ЕС, исходное значение 57,94 мкСм/см

$$p_3(x) = e^{-\frac{x^2}{3200}} = e^{-\frac{57,94^2}{3200}} = 0,35.$$

4. Нормируем показатель рН, исходное значение 4,89

$$p_4(x) = \begin{cases} 1 & \text{при } 5,5 \leq x \leq 6,5; \\ -0,05x^2 + 0,95x - 2,7125 & \text{при } 3,5 \leq x < 5,5 = 0,778; \\ -0,05x^2 + 0,25x + 1,48 & \text{при } 6,5 < x \leq 8,5. \end{cases}$$

5. Нормируем показатель Lr, исходное значение 3,8

$$p_5(x) = \begin{cases} \frac{1}{\ln(5,36)} \ln(x+1) & \text{при } x < 4,36 \\ 1 & \text{при } x \geq 4,36 \end{cases} = 0,934.$$

Суммарная оценка качества экологического состояния жилой зоны рп. Средней Ахтубы (Средне-ахтубинский район Волгоградской области) ($Q_{Cr.Ax}$) рассчитывалась следующим образом:

Табл. 4. Средние значения базовых факторов из жилой зоны рп. Средняя Ахтуба, 2018 год

Table 4. Average values of basic factors in the residential area of Srednyaya Akhtuba, 2018

Базовые факторы Basic factors	x_1 рН	x_2 ЕС, мкСм/см $\mu\text{S/cm}$	x_3 Lr, см / cm	x_4 $N_{\text{PM}_{10}}$, доля $N_{\text{PM}_{10}}$, fraction	x_5 $D(d_{\text{PM}_{10}})$, доля $D(d_{\text{PM}_{10}})$, fraction
Средние значения Mean values	4,89	57,945	3,8	0,915	0,44

Таким образом, суммарная оценка качества экологического состояния жилой зоны рп. Средняя Ахтуба в 2018 году составила 0,472 балла.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенное исследование в виде интегральной экспресс-оценки экологического состояния жилой зоны рп. Средняя Ахтуба (Среднеахтубинский район, Волгоградская область) позволило установить ее экологический статус как «зоны кризиса», поскольку суммарная оценка качества экологического состояния территории жилой зоны ($Q_{\text{Ср.Ах}}$) в 2018 году составила 0,472 балла, в связи с чем в жилой зоне наблю-

дались изменения флоры и фауны в виде «угнетения их роста и гибели» (табл. 2).

При этом оценка ветровой нагрузки за весну–лето 2018 года (табл. 5) свидетельствовала о преобладании ветров западного, юго-западного, юго-восточного и южного направлений, где расположена река Ахтуба (приток реки Волги), особо охраняемая природная территория (ООПТ) — Природный парк «Волго-Ахтубинская пойма», имеющий международный статус биосферного резервата ЮНЕСКО, в котором сосредоточены водно-болотные угодья с территориями гнездования птиц, в том числе редких видов, заливные луга, нерестилища рыб, плодородные пойменные земли, дубравы, определенные виды

Табл. 5. Анализ ветровой нагрузки и скорости ветра за апрель–сентябрь 2018, 2019, 2020 гг.*

Table 5. Wind load and wind speed analysis for April–September 2018, 2019, 2020*

Месяцы Months	2018**			
	Направления ветров Wind directions			
	Природные источники Natural sources		Антропогенные источники Anthropogenic sources	
	Западный, юго-западный, юго-восточный, южный Western, south-western, south-eastern, southern		Северный, северо-западный, северо-восточный, восточный Northern, northwestern, north-eastern, eastern	
	Количество дней Number of days	Средняя скорость ветра, м/с Average wind speed, m/s	Количество дней Number of days	Средняя скорость ветра, м/с Average wind speed, m/s
Апрель April	15	7,9	14	5,2
Май May	14	5,5	17	6,9
Июнь June	16	5,1	14	5,6
Июль July	17	5,7	14	4,7
Август August	22	5,8	9	5,7
Сентябрь September	20	5,8	10	6,4
Всего: Total:	104	5,9	78	5,8

Примечание: * — Волгоградский центр гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды (открытые данные);

** — 1 день в апреле был безветренный

Note: * — Volgograd Centre for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (open access data);

** — One day in April was not windy

растений, грибов и животных, занесенных в Красную книгу, а также земельные участки преимущественно с садоводческими некоммерческими товариществами и небольшой процент территорий, отведенных под малозатяжную застройку.

В этой связи речь может идти о неизвестной природной нагрузке на жилую зону рп Средняя Ахтуба со стороны природного парка, а также антропогенной нагрузке со стороны промышленной зоны, расположенной в северной части населенного пункта, где функционируют два предприятия по производству керамзита, в том числе, проходит федеральная автодорога (18Р-1), имеется техногенный пруд-испаритель Большой Лиман и др., что в совокупности формирует «смешанный тип» аэрозольного загрязнения в жилой зоне рп. Средняя Ахтуба.

Данная территория представляет интерес для дальнейших исследований и установления истинных источников загрязнения с целью разработки экологических мероприятий для защиты населения от действия антропогенных и природных факторов.

Предлагаемая методика может быть рекомендована при осуществлении экологического строительства в рамках развития «зеленых стандартов» в России, позиционируемых рядом авторов [50–52], в частности при реализации ГОСТа Р 58875-2020 («Зеленые стандарты» (озеленяемые и эксплуатиру-

емые крыши зданий и сооружений)), разработанного научно-образовательным центром «Экологическая безопасность, зеленые стандарты и технологии» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ) и др. В данном случае «озеленение крыш» на урбанистических территориях, как указано в ГОСТе, может оказывать не только «положительное влияние с точки зрения экологии и защиты окружающей среды в урбанизированной городской среде», но и «озелененные крыши способствуют улучшению микроклимата, снижают интенсивность отражения солнечных лучей на соседние зоны, смягчают экстремальную температуру воздуха в летний и зимний периоды, повышают уровень влажности в атмосфере, собирают на себя частички пыли» и др.

В этой связи «зеленые крыши» в населенных пунктах могут быть наделены дополнительными функциями в виде сбора растениями загрязняющих веществ из атмосферного воздуха, используя их в качестве «естественных пробоотборников» химических соединений, «пассивных мониторов» качества окружающей среды, применяя методику интегральной экспресс-оценки экологического состояния территорий с использованием аэрозолей.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Фан Тху Ан, Шукуров И.С., Фам Ван Лыонг, Шукурова Л.И. Исследование запыленности воздуха городской среды // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. № 10. С. 1425–1439. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.10.1425-1439
2. Яременко С.А., Гармонов К.В. Расчет концентраций вредных веществ в нижних слоях атмосферы с использованием теории вентиляционных струй // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. № 2 (113). С. 222–230. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.2.222-230
3. Ковригин А.А., Слесарев М.Ю. Экологический мониторинг атмосферы вблизи полигона «Саларьево» // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. № 5. С. 589–602. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.5.589-602
4. Wu R., Zhong L., Huang X., Xu H., Liu S., Feng B. Temporal variations in ambient particulate matter reduction associated short-term mortality risks in Guangzhou, China: A time-series analysis (2006–2016) // Science of the Total Environment. 2018. Vol. 645. Pp. 491–498. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.07.091
5. Cesar G., Cristina A., Nascimento L. Coarse particles and hospital admissions due to respiratory diseases in children. An ecological time series study // Sao Paulo Medical Journal. 2018. Vol. 136. Issue 3. Pp. 245–250. DOI: 10.1590/1516-3180.2017.0362080218
6. Mehdi M., Mohammad M., Amir M., Hassan K., Yaghoub H., Ali A. Assessment of Air Quality Index and Health Impact of PM₁₀, PM_{2.5} and SO₂ in Yazd, Iran // Journal of Mazandaran University of Medical Sciences. 2015. Pp. 14–23.
7. Kim T., Young T.H., Kim S.Yi. et al. 10th Asian Aerosol Conference (AAC): Korea Assoc Particle & Aerosol Res, South Korea // Aerosol and Air Quality Research. 2018. Vol. 18. Issue 7. Pp. 1853–1862. DOI: 10.1007/s41810-017-0017-x
8. Rabha R., Ghosh S., Padhy P.K. Indoor air pollution in rural north-east India: Elemental compositions, changes in haematological indices, oxidative stress and health risks // Ecotoxicology and Environmental Safety. 2018. Vol. 165. Pp. 393–403. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2018.09.014
9. Gao M., Beig G., Song S., Zhang H., Hu J., Ying Q. et al. The impact of power generation emissions on ambient PM_{2.5} pollution and human health in China and India // Environment International. 2018. Vol. 121. Pp. 250–259. DOI: 10.1016/j.envint.2018.09.015
10. Chan T.-C., Zhang Z., Lin B.-C., Lin C., Deng H.-B., Chuang Y.C. et al. Long-term exposure to ambient fine particulate matter and chronic kidney disease: A cohort study // Environmental Health Perspectives. 2018. Vol. 126. Issue 10. DOI: 10.1289/EHP3304

11. *Fagundes L.S., Fleck A.D.S., Zanchi A.C., Saldiva P.H.N., Rhoden C.R.* Direct contact with particulate matter increases oxidative stress in different brain structures // *Inhalation Toxicology*. 2015. Vol. 27. Issue 10. Pp. 462–467. DOI: 10.3109/08958378.2015.1060278
12. *Ljubimova J.Y., Braubach O., Patil R., Chiechi A., Tang J., Galstyan A. et al.* Coarse particulate matter (PM_{2.5-10}) in Los Angeles Basin air induces expression of inflammation and cancer biomarkers in rat brains // *Scientific Reports*. 2018. Vol. 8. Pp. 1–11. DOI: 10.1038/s41598-018-23885-3
13. *Andersen Z.J., Pedersen M., Weinmayr G., Stafoggia M., Galassi C., Jørgensen J.T. et al.* Long-term exposure to ambient air pollution and incidence of brain tumor: the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE) // *Neuro-oncology*. 2018. Vol. 20. Issue 3. Pp. 420–432. DOI: 10.1093/neuonc/nox163
14. *Dolci M., Favero C., Bollati V., Campo L., Cattaneo A., Bonzini M. et al.* Particulate matter exposure increases JC polyomavirus replication in the human // *Environmental pollution*. 2018. Vol. 241. Pp. 234–239. DOI: 10.1016/j.envpol.2018.05.044
15. *Dick C.A.J., Brown D.M., Donaldson K., Stone V.* The role of free radicals in the toxic and inflammatory effects of four different ultrafine particle types // *Inhalation Toxicology*. 2003. Vol. 15. Issue 1. Pp. 39–52. DOI: 10.1080/08958370304454
16. *MacNee W., Donaldson K.* Mechanism of lung injury caused by PM₁₀ and ultrafine particles with special reference to COPD // *European Respiratory Journal*. 2003. Vol. 21. Pp. 47S–51S. DOI: 10.1183/09031936.03.00403203
17. *McCawley M.A., Kent M.S., Berakis M.T.* Ultrafine beryllium aerosol as a possible metric for chronic beryllium disease // *Applied Occupational and Environmental Hygiene*. 2001. Vol. 16. Pp. 631–638. DOI: 10.1080/10473220120812
18. *Невмерзущий Н.В.* Методика оценки и прогнозирования экстремального загрязнения воздуха на автомагистралях мелкодисперсными взвешенными частицами PM₁₀ и PM_{2.5}: дис. ... канд. техн. наук. М., 2017. 155 с.
19. *Лапшин В.Б., Яблоков М.Ю., Матвеева И.С., Игнатченко А.В., Полевицков Д.С., Шокина О.И. и др.* Токсичны ли морские аэрозоли? // *Электронный журнал «Исследовано в России»*. 2002. Т. 5. С. 1302–1316.
20. *Звездин В.Н., Землянова М.А., Акафьева Т.И.* Токсичность аэрозоля нанодисперсного оксида марганца при ингаляционной экспозиции // *Медицина труда и промышленная экология*. 2015. Т. 12. С. 13–16.
21. *Guzel B.* Monitoring of the chemical composition of rainwater in a semi-urban area in the northern west of Turkey // *Gazi University Journal of Science*. 2021. Vol. 34. Issue 1. Pp. 1–17. DOI: 10.35378/gujs.727114
22. *Muselli M., Clus O., Ortega P., Milimouk I., Beysens D.* Physical, chemical and biological characteristics of dew and rainwater during the dry season of tropical islands // *Atmosphere*. 2021. Vol. 12. Issue 1. DOI: 10.3390/atmos12010069
23. *Ahmady-Birgani H., Ravan P., Schlosser J.S., Cuevas-Robles A., AzadiAghdam M., Sorooshian A.* On the chemical nature of wet deposition over a major desiccated lake: Case study for Lake Urmia basin // *Atmospheric Research*. 2020. Vol. 234. P. 104762. DOI: 10.1016/j.atmosres.2019.104762
24. *Popek R., Lukowski A., Karolewski P.* Particulate matter accumulation — further differences between native *Prunus padus* and non-native *P. serotina* // *Dendrobiology*. 2017. Vol. 78. Pp. 85–95. DOI: 10.12657/DENBIO.078.009.
25. *Lukowski A., Popek R., Karolewski P.* Particulate matter on foliage of *Betula pendula*, *Quercus robur*, and *Tilia cordata*: deposition and ecophysiology // *Environmental Science and Pollution Research*. 2020. Vol. 27. Issue 10. Pp. 10296–10307. DOI: 10.1007/s11356-020-07672-0
26. *Zhang W., Zhang Z., Meng H., Zhang T.* How does leaf surface micro-morphology of different trees impact their ability to capture particulate matter? // *Forests*. 2018. Vol. 9. Issue 11. DOI: 10.3390/f9110681
27. *Oyana T.J., Lomnicki S.M., Guo C., Cormier S.A.* A scalable field study protocol and rationale for passive ambient air sampling: a spatial phytosampling for leaf data collection // *Environmental Science & Technology*. 2017. Vol. 51. Issue 18. Pp. 10663–10673. DOI: 10.1021/acs.est.7b03643
28. *Guo C., Hasan F., Lay D., Cruz A.L.N.D., Ghimire A., Lomnicki S.M.* Phytosampling—a supplementary tool for particulate matter (PM) speciation characterization // *Environmental Science and Pollution Research*. 2021. Vol. 28. Issue 29. Pp. 39310–39321. DOI: 10.1007/s11356-021-13292-z
29. *Popek R., Lukowski A., Bates C., Oleksyn J.* Accumulation of particulate matter, heavy metals, and polycyclic aromatic hydrocarbons on the leaves of *Tiliacordata* Mill. in five Polish cities with different levels of air pollution // *International Journal of Phytoremediation*. 2017. Vol. 19. Issue 12. Pp. 1134–1141. DOI: 10.1080/15226514.2017.1328394
30. *Bi Y.F., Guo F.Y., Yang L., Zhong H., Wang A.K., Wang Y.K. et al.* *Phyllostachys edulis* forest reduces atmospheric PM_{2.5} and PAHs on hazy days at suburban area // *Scientific Reports*. 2018. Vol. 8. DOI: 10.1038/s41598-018-30298-9
31. *Khristin M.S., Lankin A.V., Kreslavski V.D.* Absorption of naphthalene by leaves and its interaction with chlorophyll-protein complexes of pea plants // *Russian Journal of Plant Physiology*. 2020. Vol. 67. Issue 4. Pp. 646–652. DOI: 10.1134/S1021443720040093
32. *Gregorio E., Gené J., Sanz R., Rocaadenbosch F., Chueca P., Arnó J. et al.* Polarization lidar detection of agricultural aerosol emissions // *Journal of Sensors*. 2018. DOI: 10.1155/2018/1864106

33. Pi H., Sharratt B., Schillinger W.F., Bary A., Cogger C. Chemical composition of windblown dust emitted from agricultural soils amended with biosolids // *Aeolian Research*. 2018. Vol. 32. Pp. 102–115. DOI: 10.1016/j.aeolia.2018.02.001
34. Guo L., Ma S., Zhao D., Zhao B., Xu B., Wu J. et al. Experimental investigation of vegetative environment buffers in reducing particulate matters emitted from ventilated poultry house // *Journal of the Air & Waste Management Association*. 2019. Vol. 69. Issue 8. Pp. 934–943. DOI: 10.1080/10962247.2019.1598518
35. Bolles K., Sweeney M., Forman S. Meteorological catalysts of dust events and particle source dynamics of affected soils during the 1930s Dust Bowl drought, Southern High Plains, USA // *Anthropocene*. 2019. Vol. 27. DOI: 10.1016/j.ancene.2019.100216
36. Du H., Zuo X., Li S., Wang T., Xue X. Wind erosion changes induced by different grazing intensities in the desert steppe, Northern China // *Agriculture Ecosystems & Environment*. 2019. Vol. 274. Pp. 1–13. DOI: 10.1016/j.agee.2019.01.001
37. Sahakyan L., Tepanosyan G., Maghakyan N., Kafyan M., Melkonyan G., Saghatelian A. Contamination levels and human health risk assessment of mercury in dust and soils of the urban environment, Vanadzor, Armenia // *Atmospheric Pollution Research*. 2019. Vol. 10. Issue 3. Pp. 808–816. DOI: 10.1016/j.apr.2018.12.009
38. Gholizadeh A., Taghavi M., Moslem A., Neshat A.A., Najafi M.L., Alahabadi A. et al. Ecological and health risk assessment of exposure to atmospheric heavy metals // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2019. Vol. 184. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2019.109622
39. Przybysz A., Nersisyan G., Gawroński S.W. Removal of particulate matter and trace elements from ambient air by urban greenery in the winter season // *Environmental Science and Pollution Research*. 2019. Vol. 26. Issue 1. Pp. 473–482. DOI: 10.1007/s11356-018-3628-0
40. De La Cruz A.R.H., Ayuque R.F.O., De La Cruz R.W.H., López-Gonzales J.L., Gioda A. Air quality biomonitoring of trace elements in the metropolitan area of Huancayo, Peru using transplanted *Tillandsia capillaris* as a biomonitor // *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 2020. Vol. 92. Issue 1. DOI: 10.1590/0001-3765202020180813
41. Kawasaki K., Horikawa K., Sakai H. Magnetic biomonitoring of roadside pollution in the restricted Midagahara area of Mt. Tateyama, Toyama, Japan // *Environmental Science and Pollution Research*. 2017. Vol. 24. Issue 11. Pp. 10313–10325. DOI: 10.1007/s11356-017-8702-5
42. Dorokhova L.A., Yusupov D.V., Rikhvanov L.P. Geochemical and mineral indicators of degradation in urban areas using poplar leaves // *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University-geo Assets Engineering*. 2020. Vol. 331. Issue 11. Pp. 137–146. DOI: 10.18799/24131830/2020/11/2893
43. Ren X., Wang J.L., Zhong Q.Q., Bi Q.Q., Zhu R.L., Du J.Z. Radionuclide and trace metal accumulation in a variety of mosses used as bioindicators for atmospheric deposition // *Science of the Total Environment*. 2021. Vol. 797. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.149224
44. Shynkarenko V.K., Paskevych S.A., Menshenin Y.A., Odintsov O.O. Radionuclides contamination of leaves of woody plants growing within the ChNPP cooling pond // *Nuclear Physics and Atomic Energy*. 2021. Vol. 22. Issue 2. Pp. 157–166. DOI: 10.15407/jnpae2021.02.157
45. Lukowski A., Popek R., Karolewski P. Particulate matter on foliage of *Betula pendula*, *Quercus robur*, and *Tiliacordata*: deposition and ecophysiology // *Environmental Science and Pollution Research*. 2020. Vol. 27. Pp. 10296–10307. DOI: 10.1007/s11356-020-07672-0
46. Асанова Н.В., Калинин Я.В., Сагатов Л.С., Тарасова И.А. Интегральная оценка качества транспортного обслуживания крупных городов и городских агломераций // *Управление развитием крупномасштабных систем MLSD'2018* : тр. одиннадцатой Междунар. конф. В 3 т. 2018. С. 118–124.
47. Свистов П.Ф., Полищук А.И., Першина Н.А. Качественная оценка загрязнения окружающей среды (по данным о химическом составе атмосферных осадков) // *Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова*. 2010. № 562. С. 76–94.
48. Bettiol C., De Vettori S., Minervini G., Zuccon E., Marchetto D., Ghirardini A.V. et al. Assessment of phenolic herbicide toxicity and mode of action by different assays // *Environmental Science and Pollution Research*. 2016. Vol. 23. Issue 8. Pp. 7398–7408. DOI: 10.1007/s11356-015-5958-5
49. Теличенко В.И., Бенуж А.А., Сухинина Е.А. Межгосударственные «зеленые» стандарты для формирования экологически безопасной среды жизнедеятельности // *Вестник МГСУ*. 2021. Т. 16. № 4. С. 438–462. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.4.438-462
50. Теличенко В.И. «Зеленые» технологии среды жизнедеятельности: понятия, термины, стандарты // *Вестник МГСУ*. 2017. Т. 12. № 4 (103). С. 364–372. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.4.364-372
51. Теличенко В.И., Слесарев М.Ю. «Зеленая» стандартизация технологий формирования природоподобной среды жизнедеятельности // *Вестник МГСУ*. 2018. Т. 13. № 5 (116). С. 558–567. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.5.558-567

Поступила в редакцию 31 мая 2022 г.

Принята в доработанном виде 4 июля 2022 г.

Одобрена для публикации 6 июля 2022 г.

ОБ АВТОРАХ: Ирина Юрьевна Глинянова — кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности в строительстве и городском хозяйстве; **Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ);** 400005, г. Волгоград, пр-т им. Ленина, д. 28; РИНЦ ID: 298099, Scopus: 57204780096, ResearcherID: ABC-7057-2021, ORCID: 0000-0003-1388-1233; ecoris@yandex.ru;

Наталья Васильевна Асанова — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры прикладной математики и кафедры системы автоматизированного проектирования и поискового конструирования; **Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ);** 400005, г. Волгоград, пр-т им. Ленина, д. 28; РИНЦ ID: 626088, ResearcherID: Y-8807-2019, ORCID: 0000-0003-3781-7017; natali_as@mail.ru;

Владимир Трофимович Ерофеев — доктор технических наук, профессор, декан архитектурно-строительного факультета; **Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева (МГУ им. Н.П. Огарева);** 430005, г. Саранск, Республика Мордовия, ул. Большевикская, д. 68; РИНЦ ID: 161483, Scopus: 56662851300, ResearcherID: A-7827-2017, ORCID: 0000-0001-8407-8144; proshkina_o@inbox.ru;

Виктор Васильевич Афонин — кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления; **Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева (МГУ им. Н.П. Огарева);** 430005, Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68; РИНЦ ID: 101166, Scopus: jJL-RYC-he5-UhV, ORCID: 0000-0001-7976-9792; vvafonin53@yandex.ru.

Вклад авторов:

Глинянова И.Ю. — концепция исследования, сбор и обработка материала, написание исходного текста статьи.

Асанова Н.В. — разработка и математическое описание модели.

Афонин В.В. — обработка материала, научное редактирование текста.

Ерофеев В.Т. — научное руководство, научное редактирование текста.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Phan Thi An, Shukurov I.S., Pham Van Luong, Shukurova L.I. A study of the dust content in the air of the urban environment. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2020; 15(10):1425-1439. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.10.1425-1439 (rus.).
2. Yaremenko S.A., Garmonov K.V. Calculation of concentrations of harmful substances in the lower atmosphere using the theory of ventilation jets. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2018; 13(2):222-230. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.2.222-230 (rus.).
3. Kovrigin A.A., Slesarev M.Yu. Ecological monitoring of the atmosphere close to Salaryevo landfill. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2022; 17(5):589-602. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.5.589-602 (rus.).
4. Wu R., Zhong L., Huang X., Xu H., Liu S., Feng B. Temporal variations in ambient particulate matter reduction associated short-term mortality risks in Guangzhou, China: A time-series analysis (2006–2016). *Science of the Total Environment*. 2018; 645:491-498. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.07.091
5. Cesar G., Cristina A., Nascimento L. Coarse particles and hospital admissions due to respiratory diseases in children. An ecological time series study. *Sao Paulo Medical Journal*. 2018; 136(3):245-250. DOI: 10.1590/1516-3180.2017.0362080218
6. Mehdi M., Mohammad M., Amir M., Hassan K., Yaghoub H., Ali A. Assessment of Air Quality Index and Health Impact of PM₁₀, PM_{2.5} and SO₂ in Yazd, Iran. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*. 2015; 14-23.
7. Kim T., Young T.H., Kim S.Yi. et al. 10th Asian Aerosol Conference (AAC): Korea Assoc Particle & Aerosol Res, South Korea. *Aerosol and Air Quality Research*. 2018; 18(7):1853-1862. DOI: 10.1007/s41810-017-0017-x
8. Rabha R., Ghosh S., Padhy P.K. Indoor air pollution in rural north-east India: Elemental compositions, changes in haematological indices, oxidative stress and health risks. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2018; 165:393-403. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2018.09.014
9. Gao M., Beig G., Song S., Zhang H., Hu J., Ying Q. et al. The impact of power generation emissions on ambient PM_{2.5} pollution and human health in China and India. *Environment International*. 2018; 121:250-259. DOI: 10.1016/j.envint.2018.09.015
10. Chan T.-C., Zhang Z., Lin B.-C., Lin C., Deng H.-B., Chuang Y.C. et al. Long-term exposure to ambient fine particulate matter and chronic kidney disease: A cohort study. *Environmental Health Perspectives*. 2018; 126(10). DOI: 10.1289/EHP3304
11. Fagundes L.S., Fleck A.D.S., Zanchi A.C., Saldiva P.H.N., Rhoden C.R. Direct contact with particulate matter increases oxidative stress in different brain structures. *Inhalation Toxicology*. 2015; 27(10):462-467. DOI: 10.3109/08958378.2015.1060278

12. Ljubimova J.Y., Braubach O., Patil R., Chiechi A., Tang J., Galstyan A. et al. Coarse particulate matter (PM_{2.5-10}) in Los Angeles Basin air induces expression of inflammation and cancer biomarkers in rat brains. *Scientific Reports*. 2018; 8:1-11. DOI: 10.1038/s41598-018-23885-3
13. Andersen Z.J., Pedersen M., Weinmayr G., Stafoggia M., Galassi C., Jørgensen J.T. et al. Long-term exposure to ambient air pollution and incidence of brain tumor: the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE). *Neuro-oncology*. 2018; 20(3):420-432. DOI: 10.1093/neuonc/nox163
14. Dolci M., Favero C., Bollati V., Campo L., Cattaneo A., Bonzini M. et al. Particulate matter exposure increases JC polyomavirus replication in the human. *Environmental Pollution*. 2018; 241:234-239. DOI: 10.1016/j.envpol.2018.05.044
15. Dick C.A.J., Brown D.M., Donaldson K., Stone V. The role of free radicals in the toxic and inflammatory effects of four different ultrafine particle types. *Inhalation Toxicology*. 2003; 15(1):39-52. DOI: 10.1080/089583703004454
16. MacNee W., Donaldson K. Mechanism of lung injury caused by PM₁₀ and ultrafine particles with special reference to COPD. *European Respiratory Journal*. 2003; 21:47S-51S. DOI: 10.1183/09031936.03.00403203
17. McCawley M.A., Kent M.S., Berakis M.T. Ultrafine beryllium aerosol as a possible metric for chronic beryllium disease. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*. 2001; 16:631-638. DOI: 10.1080/10473220120812
18. Nevmerzchikij N.V. *Methodology for assessing and forecasting extreme air pollution on highways with fine particulate matter PM₁₀ and PM_{2.5}*. Moscow, 2017; 155. (rus.).
19. Lapshin V.B., Yablokov M.Yu., Matveeva I.S., Ignatchenko A.V., Polevshchikov D.S., Shokina O.I. et al. Are marine aerosols toxic? *Researched in Russia*. 2002; 5:1302-1316. (rus.).
20. Zvezdin V.N., Zemlyanova M.A., Akaf'eva T.I. Aerosol toxicity of nanodispersed manganese oxide during inhalation exposure. *Occupational Medicine and Industrial Ecology*. 2015;12:13-16. (rus.).
21. Guzel B. Monitoring of the chemical composition of rainwater in a semi-urban area in the northern west of Turkey. *Gazi University Journal of Science*. 2021; 34(1):1-17. DOI: 10.35378/gujs.727114
22. Muselli M., Clus O., Ortega P., Milimouk I., Beysens D. Physical, chemical and biological characteristics of dew and rainwater during the dry season of tropical islands. *Atmosphere*. 2021; 12(1). DOI: 10.3390/atmos12010069
23. Ahmady-Birgani H., Ravan P., Schlosser J.S., Cuevas-Robles A., AzadiAghdam M., Sorooshian A. On the chemical nature of wet deposition over a major desiccated lake: Case study for Lake Urmia basin. *Atmospheric Research*. 2020; 234:104762. DOI: 10.1016/j.atmosres.2019.104762
24. Popek R., Lukowski A., Karolewski P. Particulate matter accumulation — further differences between native *Prunuspadus* and non-native *P.serotina*. *Dendrobiology*. 2017; 78:85-95. DOI: 10.12657/DEN-BIO.078.009
25. Łukowski A., Popek R., Karolewski P. Particulate matter on foliage of *Betula pendula*, *Quercus robur*, and *Tilia cordata*: deposition and ecophysiology. *Environmental Science and Pollution Research*. 2020; 27(10):10296-10307. DOI: 10.1007/s11356-020-07672-0
26. Zhang W., Zhang Z., Meng H., Zhang T. How does leaf surface micro-morphology of different trees impact their ability to capture particulate matter? *Forests*. 2018; 9(11). DOI: 10.3390/f9110681
27. Oyana T.J., Lomnicki S.M., Guo C., Cormier S.A. A scalable field study protocol and rationale for passive ambient air sampling: a spatial phytosampling for leaf data collection. *Environmental Science & Technology*. 2017; 51(18):10663-10673. DOI: 10.1021/acs.est.7b03643
28. Guo C., Hasan F., Lay D., Cruz A.L.N.D., Ghimire A., Lomnicki S.M. Phytosampling—a supplementary tool for particulate matter (PM) speciation characterization. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021; 28(29):39310-39321. DOI: 10.1007/s11356-021-13292-z
29. Popek R., Łukowski A., Bates C., Oleksyn J. Accumulation of particulate matter, heavy metals, and polycyclic aromatic hydrocarbons on the leaves of *Tiliacordata* Mill. in five Polish cities with different levels of air pollution. *International Journal of Phytoremediation*. 2017; 19(12):1134-1141. DOI: 10.1080/15226514.2017.1328394
30. Bi Y.F., Guo F.Y., Yang L., Zhong H., Wang A.K., Wang Y.K. et al. *Phyllostachys edulis* forest reduces atmospheric PM_{2.5} and PAHs on hazy days at suburban area. *Scientific Reports*. 2018; 8. DOI: 10.1038/s41598-018-30298-9
31. Khristin M.S., Lankin A.V., Kreslavski V.D. Absorption of naphthalene by leaves and its interaction with chlorophyll-protein complexes of pea plants. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2020; 67(4):646-652. DOI: 10.1134/S1021443720040093
32. Gregorio E., Gené J., Sanz R., Rocadenbosch F., Chueca P., Arnó J. et al. Polarization lidar detection of agricultural aerosol emissions. *Journal of Sensors*. 2018. DOI: 10.1155/2018/1864106
33. Pi H., Sharratt B., Schillinger W.F., Bary A., Cogger C. Chemical composition of windblown dust emitted from agricultural soils amended with biosolids. *Aeolian Research*. 2018; 32:102-115. DOI: 10.1016/j.aeolia.2018.02.001
34. Guo L., Ma S., Zhao D., Zhao B., Xu B., Wu J. et al. Experimental investigation of vegetative environment buffers in reducing particulate matters emitted from ventilated poultry house. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 2019; 69(8):934-943. DOI: 10.1080/10962247.2019.1598518

35. Bolles K., Sweeney M., Forman S. Meteorological catalysts of dust events and particle source dynamics of affected soils during the 1930s Dust Bowl drought, Southern High Plains, USA. *Anthropocene*. 2019; 27. DOI: 10.1016/j.ancene.2019.100216
36. Du H., Zuo X., Li S., Wang T., Xue X. Wind erosion changes induced by different grazing intensities in the desert steppe, Northern China. *Agriculture Ecosystems & Environment*. 2019; 274:1-13. DOI: 10.1016/j.agee.2019.01.001
37. Sahakyan L., Tepanosyan G., Maghakyan N., Kafyan M., Melkonyan G., Saghatelian A. Contamination levels and human health risk assessment of mercury in dust and soils of the urban environment, Yerevan, Armenia. *Atmospheric Pollution Research*. 2019; 10(3):808-816. DOI: 10.1016/j.apr.2018.12.009
38. Gholizadeh A., Taghavi M., Moslem A., Neshat A.A., Najafi M.L., Alahabadi A. et al. Ecological and health risk assessment of exposure to atmospheric heavy metals. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2019; 184. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2019.109622
39. Przybysz A., Nersisyan G., Gawroński S.W. Removal of particulate matter and trace elements from ambient air by urban greenery in the winter season. *Environmental Science and Pollution Research*. 2019; 26(1):473-482. DOI: 10.1007/s11356-018-3628-0
40. De La Cruz A.R.H., Ayuque R.F.O., De La Cruz R.W.H., López-Gonzales J.L., Gioda A. Air quality biomonitoring of trace elements in the metropolitan area of Huancayo, Peru using transplanted *Tillandsia capillaris* as a biomonitor. *Anais da Academia Brasileira de Ciencias*. 2020; 92(1). DOI: 10.1590/0001-3765202020180813
41. Kawasaki K., Horikawa K., Sakai H. Magnetic biomonitoring of roadside pollution in the restricted Midagahara area of Mt. Tateyama, Toyama, Japan. *Environmental Science and Pollution Research*. 2017; 24(11):1031310325. DOI: 10.1007/s11356-017-8702-5
42. Dorokhova L.A., Yusupov D.V., Rikhvanov L.P. Geochemical and vinerall indicators of degradation in urban areas using poplar leaves. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University-Geo Assets Engineering*. 2020; 331(11):137-146. DOI: 10.18799/24131830/2020/11/2893
43. Ren X., Wang J.L., Zhong Q.Q., Bi Q.Q., Zhu R.L., Du J.Z. Radionuclide and trace metal accumulation in a variety of mosses used as bioindicators for atmospheric deposition. *Science of the Total Environment*. 2021; 797. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.149224
44. Shynkarenko V.K., Paskevych S.A., Menshenin Y.A., Odintsov O.O. Radionuclides contamination of leaves of woody plants growing within the ChNPP cooling pond. *Nuclear Physics and Atomic Energy*. 2021; 22(2):157-166. DOI: 10.15407/jnpae2021.02.157
45. Lukowski A., Popek R., Karolewski P. Particulate matter on foliage of *Betula pendula*, *Quercus robur*, and *Tiliacordata*: deposition and ecophysiology. *Environmental Science and Pollution Research*. 2020; 27:10296-10307. DOI: 10.1007/s11356-020-07672-0
46. Asanova N.V., Kalinin Ya.V., Sagatolova L.S., Tarasova I.A. Integral assessment of the quality of transport services in large cities and urban agglomerations. *Management of the Development of Large-scale Systems MLSD'2018. Proceedings of the eleventh international conference : in 3 volumes*. 2018; 118-124. (rus.).
47. Svistov P.F., Polishchuk A.I., Pershina N.A. Qualitative assessment of environmental pollution (according to the data on the chemical composition of atmospheric precipitation). *Proceedings of the Main Geophysical Observatory. A.I. Voeikov*. 2010; 562:76-94. (rus.).
48. Bettiol C., De Vettori S., Minervini G., Zuccon E., Marchetto D., Ghirardini A.V. et al. Assessment of phenolic herbicide toxicity and mode of action by different assays. *Environmental Science and Pollution Research*. 2016; 23(8):7398-7408. DOI: 10.1007/s11356-015-5958-5
49. Telichenko V.L., Benuzh A.A., Suhinina E.A. Interstate green standards of formation sustainable built environment vital activity. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2021; 16(4):438-462. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.4.438-462 (rus.).
50. Telichenko V.I. Green technologies of living environment: concepts, terms, standards. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2017; 12(4):(103):364-372. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.4.364-372 (rus.).
51. Telichenko V.I., Slesarev M.Yu. "Green" standardization of technologies for forming the nature-friendly living environment. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2018; 13(5):(116):558-567. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.5.558-567 (rus.).

Received May 31, 2022.

Adopted in revised form on July 4, 2022.

Approved for publication on July 6, 2022.

BIONOTES: **Irina Yu. Glinyanova** — PhD, Associate Professor of the Department of Life Safety in Construction and Urban Management; **Volgograd State Technical University (VolgSTU)**; 28 Lenin avenue, Volgograd, 400005, Russian Federation; ID RISC: 298099, Scopus: 57204780096, ResearcherID: ABC-7057-2021, ORCID: 0000-0003-1388-1233; ecoris@yandex.ru;

Natalia V. Asanova — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Mathematics and the Department of Computer-Aided Design and Search Engineering; **Volgograd State Technical**

University (VolgGSTU); 28 Lenin avenue, Volgograd, 400005, Russian Federation; ID RISC: 626088, ResearcherID: Y-8807-2019, ORCID: 0000-0003-3781-7017, natali_as@mail.ru;

Vladimir T. Erofeev — Doctor of Technical Sciences, Professor, Dean of the Faculty of Architecture and Civil Engineering; **National Research Ogarev Mordovia State University (MRSU)**; 68 Bolshevistskaya st., Saransk, 430005, Russian Federation; ID RISC: 161483; Scopus: 56662851300; ResearcherID: A-7827-2017; ORCID: 0000-0001-8407-8144; proshkina_o@inbox.ru;

Viktor V. Afonin — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Automated Information Processing and Management Systems; **National Research Ogarev Mordovia State University (MRSU)**; 68 Bolshevistskaya st., Saransk, 430005, Russian Federation; ID RISC: 101166, Scopus: jJL-RYC-he5-UhV, ORCID: 0000-0001-7976-9792, vvafonin53@yandex.ru.

Contribution of the authors:

Irina Yu. Glinyanova — the concept of the study, the collection and processing of material, writing the original text of the article.

Natalia V. Asanova — development and mathematical description of the model.

Viktor V. Afonin — processing of material, scientific editing of the text.

Vladimir T. Erofeev — scientific guidance, scientific editing of the text.

The authors declare no conflict of interest.

Определение давления вскрытия легкобрасываемых конструкций с учетом ветровых нагрузок

Ольга Николаевна Корольченко, Антон Дмитриевич Корольченко

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Действующие в РФ нормативные документы предписывают в помещениях, не относящихся к взрывобезопасным, предусматривать предохранительные противовзрывные устройства в ограждающих конструкциях здания, обеспечивающие безопасное давление внутри здания (помещения) и в окружающем пространстве.

Материалы и методы. Одной из важнейших характеристик легкобрасываемой конструкции (ЛСК) является давление вскрытия, величина которого определена в ГОСТ Р 56288 «Конструкции оконные со стеклопакетами легкобрасываемые для зданий. Технические условия» и должна составлять не более 0,7 кПа. Но данная величина не учитывает влияния ветровой нагрузки на ЛСК, и это приводит к противоречиям между производителями, проектировщиками и надзорными органами. Цель исследования — определение диапазона для давления вскрытия, при котором ЛСК будет способна выполнять свою основную функцию — вскрытие на ранней стадии взрыва газо-, паро-, пылевоздушных смесей и обеспечение безопасного давления внутри здания.

Результаты. Проведены расчеты основных и пиковых ветровых нагрузок согласно СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия», в результате которых установлено, что давление вскрытия 0,7 кПа сильно ограничивает применение ЛСК в различных ветровых районах. Затем для нескольких конструкций выполнено экспериментальное определение давления вскрытия светопрозрачных ЛСК при испытании на воздействие внутреннего аварийного взрыва. Затем эти же образцы были испытаны на сопротивление ветровой нагрузке. Также отмечено, что при определении $\Delta P_{\text{вск}}$ необходимо учитывать максимально допустимое давление для выбранного типа здания.

Выводы. В результате проведенных исследований авторами предложен диапазон, в котором должно находиться давление вскрытия легкобрасываемой конструкции.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: легкобрасываемая конструкция, взрыв газа, взрывные нагрузки, ветровые нагрузки, взрывобезопасность, аварийный взрыв, оконные конструкции

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Корольченко О.Н., Корольченко А.Д. Определение давления вскрытия легкобрасываемых конструкций с учетом ветровых нагрузок // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 7. С. 914–921. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.7.914-921

Автор, ответственный за переписку: Ольга Николаевна Корольченко, onk7@mail.ru.

Determining the burst pressure of vent structures with account taken of wind loads

Olga N. Korolchenko, Anton D. Korolchenko

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

ABSTRACT

Introduction. In the Russian Federation, current regulations prescribe that enclosing structures of building premises, that are not explosion-safe, must have safety anti-explosive devices to ensure safe pressure inside the building (premises) and in the surrounding space.

Materials and methods. One of the most important characteristics of vent structures (VS) is their burst pressure, the value of which is determined in GOST R (State Construction Standards of Russia) 56288 “Double-glazing vent window structures for buildings. Technical conditions”; it shall not exceed 0.7 kPa. However this value doesn't take into account the influence of wind loads on VSs, and this leads to contradictions arising between producers, designers and supervisory authorities. The purpose of this article is to determine the range of burst pressure values at which VSs will be able to perform their primary function, that is, to ensure the bursting of gas, steam, and dust-air mixtures at an early stage of an explosion and provide safe pressure inside the building.

Results. In this paper, calculations of principal and peak wind loads were made according to SP (Construction Regulations) 20.13330.2016 “Loads and impacts” to find out that the pressure of 0.7 kPa strongly limits the use of VSs in different wind regions. The burst pressure of translucent VSs was then identified experimentally for several structures subjected to the effects of an internal accidental explosion. The same specimens were tested for wind load resistance. It was also noted that in the process of determining the ΔP_{bur} , the maximum allowable pressure should be considered for the selected building type.

Conclusions. As a result of the studies made by the authors, the range of the burst pressure was identified.

KEYWORDS: vent structure, VS, gas explosion, blast loads, wind loads, explosion safety, emergency explosion, window structures

FOR CITATION: Korolchenko O.N., Korolchenko A.D. Determining the burst pressure of vent structures with account taken of wind loads. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2022; 17(7):914-921. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.7.914-921 (rus.).

Corresponding author: Olga N. Korolchenko, onk7@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Действующие в РФ нормативные документы^{1, 2, 3} предписывают в помещениях, не относящихся к взрывобезопасным⁴, предусматривать предохранительные противовзрывные устройства в ограждающих конструкциях здания, обеспечивающие безопасное давление внутри здания (помещения) и в окружающем пространстве. В качестве таких устройств в России все большее распространение получают светопрозрачные легкобрасываемые конструкции (ЛСК) смещаемого типа на основе оконных блоков из ПВХ и алюминия, а также алюминиевые витражные конструкции и витринные блоки, устанавливаемые в стеновые проемы зданий путем крепления профилей коробки непосредственно к откосу проема.

Вышеуказанные своды правил содержат требования по применению легкобрасываемых конструкций и рекомендации по их размерам, но их технические характеристики и методы испытаний не были определены до появления государственных стандартов^{5, 6}, разработанных в НИУ МГСУ.

В литературе [1–4] неоднократно упоминалось, что сложно сравнивать результаты испытаний из-за сильного различия в конструкции камер. Введение ГОСТ⁶ позволило устранить это различие [4–11]. А ГОСТ⁵ не только дал классификацию, основы которой были положены в работах [1, 2], но и установил технические требования к поворотным и смещаемым ЛСК. Одной из важнейших (если не самой важной) характеристик ЛСК является давление вскрытия, величина которого определена в ГОСТ⁵ и должна составлять не более 0,7 кПа. Но данная величина не учитывает влияния ветровой нагрузки на ЛСК, и это приводит к противоречиям между производителями, проектировщиками и надзорными органами [12]. Целью данной статьи является определение диапа-

зона для давления вскрытия, при котором ЛСК будет способна выполнять свою основную функцию — вскрытие на ранней стадии взрыва газо-, паро-, пылевоздушных смесей и обеспечение безопасного давления внутри здания.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В разных источниках мы встречаем разные рекомендации по давлению вскрытия ЛСК. Так, Г.Г. Орлов в [2] указывает на необходимость вскрытия ЛСК при $\Delta P_{\text{вск}} < 2$ кПа, Л.П. Пилюгин в [3] для смещаемых ЛСК, устраиваемых в стенах, рекомендует систему:

$$\begin{cases} \Delta P_{\text{вск}} = 2 \text{ кПа}, \\ \Delta P_{\text{вск}} = -3,5 P_{\text{р.в}(-)}, \end{cases} \quad (1)$$

где $P_{\text{р.в}(-)}$ — ветровая нагрузка, возникающая в зоне разряжения у наружного ограждения взрывоопасного помещения в месте установки ЛСК. Из двух значений принимается большее.

Согласно [2], система выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} \Delta P_{\text{вск}} = 2 \text{ кПа}, \\ \Delta P_{\text{вск}} = 3,5 P_{\text{р.в}} + P_{\text{д.н}}, \end{cases} \quad (2)$$

где $P_{\text{р.в}}$ — расчетное значение пиковой ветровой нагрузки, кПа, определяется по СП⁷; $P_{\text{д.н}}$ — дополнительная нагрузка, которую необходимо приложить к ЛСК изнутри помещения для того, чтобы вызвать ее отделение от остальной части наружной ограждающей конструкции, кПа. Из двух значений по каждой формуле также в качестве расчетного принимается большее.

Все вышеуказанные рекомендации предполагают задавать или рассчитывать давление вскрытия для дальнейшего использования. ГОСТ⁵ вводит

¹ СП 4.13130.2013. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям.

² СП 56.13330.2011. Производственные здания.

³ СП 89.13330.2012. Котельные установки.

⁴ СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

⁵ ГОСТ Р 56288-2014. Конструкции оконные со стеклопакетами легкобрасываемые для зданий. Технические условия.

⁶ ГОСТ Р 56289-2014. Конструкции светопрозрачные легкобрасываемые для зданий. Методы испытаний на воздействие внутреннего аварийного взрыва.

⁷ СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия.

нормативное значение давления вскрывания не более 0,7 кПа и предписывает определять его экспериментальным путем при стандартных условиях по ГОСТ⁶.

В данной работе проведены расчеты основных и пиковых ветровых нагрузок согласно СП⁷.

Проведено экспериментальное определение давления вскрывания $\Delta P_{\text{вск}}$ светопрозрачных ЛСК при испытании на воздействие внутреннего аварийного взрыва по ГОСТ⁶. Затем эти же конструкции были испытаны на сопротивление ветровой нагрузке w_m в соответствии с ГОСТ⁸.

В качестве образцов для испытаний были использованы ЛСК на основе оконного блока из ПВХ профиля со стеклопакетом, ЛСК на основе оконного блока из алюминиевого профиля со стеклопакетом, ЛСК на основе витражной конструкции из стоечно-ригельной алюминиевой системы со стеклопакетом.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Согласно СП⁷ для зданий и сооружений необходимо учитывать следующие воздействия ветра:

- основной тип ветровой нагрузки (в дальнейшем — «основная ветровая нагрузка»);
- пиковые значения ветровой нагрузки, действующие на конструктивные элементы ограждения и элементы их крепления (в дальнейшем — «пиковая ветровая нагрузка»);
- резонансное вихревое возбуждение;
- аэродинамически неустойчивые колебания типа галоупирования, дивергенции и флаттера.

Для упрощения задачи примем, что рассматриваемые здания имеют архитектурные и конструктивные решения, исключающие резонансное вихревое возбуждение и аэродинамически неустойчивые колебания. По основной и пиковой ветровым нагрузкам коэффициент надежности по нагрузке составляет 1,4. Для расчета возьмем два здания (рис. 1):

здание 1 имеет размеры $10 < h \leq 20$; $d > 4h$, где h — высота в м, d — длина в м;

здание 2 имеет размеры $50 < h \leq 60$; $d = 2h$. Площадь легкобрасываемой конструкции принимаем в диапазоне от 2 до 5 м².

Нормативное значение основной ветровой нагрузки определяется по формуле:

$$w_m = w_0 k(z_b) c_p, \quad (3)$$

а нормативное значение пиковой ветровой нагрузки:

$$w_{-} = w_0 k(z_b) (1 + \zeta(z_b)) c_{p-} v_{-}, \quad (4)$$

где w_0 — нормативное значение ветрового давления, кПа; $k(z_b)$ и $\zeta(z_b)$ — коэффициенты, учитывающие, соответственно, изменение давления и пульсаций давления ветра на высоте z_b ; c_{p-} — аэродинамический коэффициент; v_{-} — коэффициент корреляции ветровой нагрузки, соответствующий положительному давлению или отсосу (зависит от площади ЛСК).

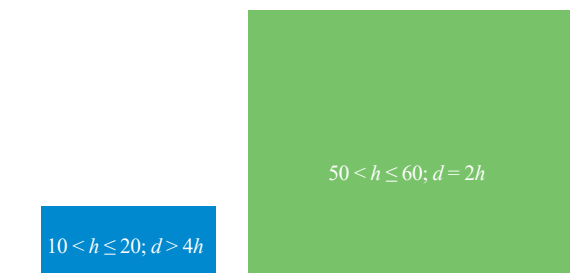


Рис. 1. Визуальное отображение размеров зданий 1 и 2

Fig. 1. Visual representation of dimensions of Buildings 1 and 2

ский коэффициент; v_{-} — коэффициент корреляции ветровой нагрузки, соответствующий положительному давлению или отсосу (зависит от площади ЛСК).

Так как ЛСК смещается наружу, то нас интересует сопротивление отрицательному ветровому давлению (отсосу).

Для здания 1: $k(z_b) = 1,25$, $\zeta(z_b) = 0,69$, $c_p = 1,2$, $v = 0,85$.

Для здания 2: $k(z_b) = 1,70$, $\zeta(z_b) = 0,58$, $c_p = 1,8$, $v = 0,85$.

Полученные значения для зданий 1 и 2 показаны в табл. 1 и 2 соответственно.

Итак, определена величина ветровой нагрузки с учетом коэффициента надежности по нагрузке 1,4.

Для того чтобы ЛСК не вылетало из проема под воздействием отрицательного ветрового давления, давление вскрывания должно быть не менее пиковой ветровой нагрузки $P_{\text{п.в.}}$, а согласно [13, 14] конструкция ЛСК должна обеспечивать значение $\Delta P_{\text{вск}}$ не более $0,77P_{\text{доп}}$.

Таким образом мы получаем, что давление вскрывания должно находиться в диапазоне:

$$1,4P_{\text{п.в.}} \leq \Delta P_{\text{вск}} \leq 0,77P_{\text{доп}}, \quad (5)$$

где $P_{\text{п.в.}}$ — пиковая ветровая нагрузка, кПа; $P_{\text{доп}}$ — допустимая нагрузка в здании.

Для здания 1 максимальная величина пиковой ветровой нагрузки в 7-м ветровом районе составляет 1,83 кПа, а для здания 2 аналогичный показатель 7,53 кПа.

Из литературы [1, 2, 15–20] мы знаем, что, как правило, при нагрузках от 3,5 до 6 кПа строительные конструкции получают среднюю степень разрушения, которая характеризуется частичным разрушением второстепенных строительных конструкций (полное разрушение остекления, опрокидывание кирпичных стен и легких перегородок, разрушение покрытий массой до 75 кг/м²) и инженерного оборудования (воздуховодов, вентиляционных коробов), при этом возможно продолжение эксплуатации зданий после восстановительных работ. Для расчетов возьмем допустимое давление в помещении 5 кПа, тогда $0,77P_{\text{доп}}$ составит 3,85 кПа.

⁸ ГОСТ 26602.5-2001. Блоки оконные и дверные. Методы определения сопротивления ветровой нагрузке.

Табл. 1. Основные и пиковые ветровые нагрузки для здания 1

Table 1. Principal and peak wind loads for Building 1

Ветровой район Wind area	Нормативное значение ветрового давления w_0 Standard value of wind pressure w_0	Нормативное значение основной ветровой нагрузки w_m , кПа Standard value of the principal wind load w_m , kPa	Нормативное значение пиковой ветровой нагрузки w_m , кПа Standard value of the peak wind load w_m , kPa	Расчетное значение основной ветровой нагрузки w_m (с учетом коэффициента надежности по нагрузке 1,4), кПа Design value of the principal wind load w_m (taking into account the reliability factor of 1.4), kPa	Расчетное значение пиковой ветровой нагрузки w_m (с учетом коэффициента надежности по нагрузке 1,4), кПа Design value of the peak wind load w_m (taking into account the reliability factor of 1.4), kPa
I	0,23	0,35	0,50	0,48	0,69
II	0,30	0,45	0,65	0,63	0,90
III	0,38	0,57	0,82	0,80	1,15
IV	0,48	0,72	1,03	1,01	1,45
V	0,60	0,90	1,29	1,26	1,81
VI	0,73	1,10	1,57	1,53	2,20
VII	0,85	1,28	1,83	1,79	2,56

Табл. 2. Основные и пиковые ветровые нагрузки для здания 2

Table 2. Principal and peak wind loads for Building 2

Ветровой район Wind area	Нормативное значение ветрового давления w_0 Standard value of wind pressure w_0	Нормативное значение основной ветровой нагрузки w_m , кПа Standard value of the principal wind load w_m , kPa	Нормативное значение пиковой ветровой нагрузки w_m , кПа Standard value of the peak wind load w_m , kPa	Расчетное значение основной ветровой нагрузки w_m (с учетом коэффициента надежности по нагрузке 1,4), кПа Design value of the principal wind load w_m (taking into account the reliability factor of 1.4), kPa	Расчетное значение пиковой ветровой нагрузки w_m (с учетом коэффициента надежности по нагрузке 1,4), кПа Design value of the peak wind load w_m (taking into account the reliability factor of 1.4), kPa
I	0,23	0,70	2,04	1,01	2,85
II	0,30	0,92	2,66	1,32	3,72
III	0,38	1,16	3,36	1,67	4,71
IV	0,48	1,47	4,25	2,12	5,95
V	0,60	1,84	5,31	2,64	7,44
VI	0,73	2,23	6,46	3,22	9,05
VII	0,85	2,60	7,53	3,75	10,54

Возвращаясь к табл. 1 и 2, видим, что пиковая ветровая нагрузка с учетом коэффициента надежности по нагрузке 1,4 составляет менее 0,7 кПа только для здания 1 в первом ветровом районе.

Значит применение ЛСК с давлением вскрытия в 0,7 кПа в здании 1 допустимо только при его введении в первом ветровом районе, а в здании 2 неприменимо.

Теперь попробуем проверить эти выкладки на практике. В Институте комплексной безопасности в строительстве НИУ МГСУ проводился ряд испытаний легкобросываемых светопрозрачных конструкций смещаемого типа с однокамерным стеклопакетом. В ходе испытаний было определено давление вскрытия для каждой конструкции (рис. 2 и 3). Эти же конструкции были испытаны на ветровое воздействие (рис. 4). Все испытываемые образцы рассчитаны на пиковые ветровые нагрузки 1 кПа, поэтому

испытывались при давлении 1,4 кПа (с учетом коэффициента надежности 1,4). При испытаниях фиксировалась целостность предохранительных запорных устройств (ПЗУ). Результаты испытаний представлены в табл. 3.

Подставляя полученные значения в формулу (5), получаем, что для ЛСК на основе оконного блока из ПВХ профиля при использовании их в зданиях с допустимой нагрузкой в 5 кПа данное неравенство принимает вид:

Табл. 3. Результаты испытаний светопрозрачных ЛСК

Table 3. Testing results of translucent vent structures

Описание образца Specimen description	Давление вскрытия, кПа Burst pressure, kPa	Максимальное давление во взрывной камере, кПа Maximum pressure in the explosion chamber, kPa	Целостность ПЗУ при величине давления в 1,4 кПа Safety locking device integrity at the pressure value of 1.4 kPa
ЛСК на основе оконного блока из ПВХ профиля со стеклопакетом VS that represents a PVC window profile with double glazing	1,6	2,2	Не нарушена integrity retained
ЛСК на основе оконного блока из алюминиевого профиля со стеклопакетом VS that represents an aluminum profile window with double glazing	1,8	2,5	Не нарушена integrity retained
ЛСК на основе витражной конструкции из стоечно-ригельной алюминиевой системы со стеклопакетом VS that represents a stained-glass window made of aluminum post/transom system with double-glazing	2,0	2,9	Не нарушена integrity retained



Рис. 2. ЛСК из алюминиевого профиля, перед испытанием на воздействие аварийного взрыва

Fig. 2. VS, made of aluminum, before testing the impact of an emergency explosion



Рис. 3. Испытание ЛСК на воздействие аварийного взрыва

Fig. 3. Testing the impact of an emergency explosion on a VS



Рис. 4. Испытание ЛСК на сопротивление ветровой нагрузке

Fig. 4. Testing the wind load resistance of a VS

$$1,4 \leq 1,6 \leq 3,85$$

и является верным.

Аналогичные выводы получаем и по ЛСК на основе оконного блока из алюминиевого профиля со стеклопакетом, и по ЛСК на основе витражной конструкции из стоечно-ригельной алюминиевой системы со стеклопакетом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных расчетов доказано и экспериментально обосновано, что при проектировании и изготовлении ЛСК необходимо учитывать ветровые нагрузки, которым будет подвергаться конструкция при эксплуатации. В результате проведенной работы определен диапазон, в котором должно находиться давление вскрытия, при котором ЛСК будет способна выполнять свою основную функцию — вскрытие на ранней стадии взрыва газо-, паро-, пылевоздушных смесей и обеспечение безопасного давления внутри здания.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Орлов Г.Г. Легкобрасываемые конструкции для взрывозащиты промышленных зданий. М. : Стройиздат, 1987. 200 с.
2. Пилюгин Л.П. Обеспечение взрывоустойчивости зданий с помощью предохранительных конструкций. М. : Пожарная безопасность и наука, 2000. 224 с.
3. Fakandu B.M., Mbam C.J., Andrews G.E., Phylaktou H.N. Gas explosion venting: External explosion turbulent flame speeds that control the overpressure // Chemical Engineering Transactions. 2016. Vol. 53. Pp. 1–6. DOI: 10.3303/CET1653001
4. Li F.G., Chen L. Gas explosion effect on structure damage and control measures // Applied Mechanics and Materials. 2014. Vol. 501–504. Pp. 2424–2427. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amm.501-504.2424
5. Поландов Ю.Х., Добриков С.А., Кукин Д.А. Результаты испытаний легкобрасываемых конструкций // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2017. Т. 26. № 8. С. 5–14. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.08.5-14
6. Поландов Ю.Х., Корольченко Д.А., Евич А.А. Условия возникновения пожара в помещении при газовом взрыве. Экспериментальные данные // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2020. Т. 29. № 1. С. 9–21. DOI: 10.18322/PVB.2020.29.01.9-21
7. Поландов Ю.Х., Корольченко А.Д. Об условиях развития вибрационного горения при газовом взрыве в незамкнутом объеме // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2018. Т. 27. № 7–8. С. 9–23. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.07-08.9-23
8. Орлов Г.Г., Корольченко Д.А., Корольченко А.Я. Определение величины и характера взрывных нагрузок при применении инерционных предохранительных конструкций // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2015. Т. 24. № 4. С. 47–55.
9. Орлов Г.Г., Корольченко Д.А., Корольченко А.Я. Экономическая оценка эффективности применения предохранительных конструкций для обеспечения взрывоустойчивости зданий и сооружений // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2015. Т. 24. № 6. С. 51–57.
10. Kadela M., Cincio A., Fedorowicz J., Gerylo R. Attempt at numerical representation of gas explosion in a large panel building // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 603. Issue 5. P. 052023. DOI: 10.1088/1757-899X/603/5/052023
11. Mohd Mokhtar K., Md Kasmani R., Che Hassan C.R., Hamid M.D., Davazdah Emami S., Mohammad Nor M.I. Reliability and applicability of empirical equations in predicting the reduced explosion pressure of vented gas explosions // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2020. Vol. 63. P. 104023. DOI: 10.1016/j.jlp.2019.104023
12. Polandov I.H., Korolchenko A.D. About the danger of vibration combustion in gas explosions in the room // Journal of Physics: Conference Series. 2019.

Vol. 1425. Issue 1. P. 012010. DOI: 10.1088/1742-6596/1425/1/012010

13. Макасова А.В. Исследование нормативной документации на тему легкобрасываемой конструкции и предложение по его изменению // Молодежные инновации : сб. мат. семинара молодых ученых в рамках XXIII Междунар. науч. конф. 2020. С. 144–147.

14. Гордиенко Д.М., Лагозин А.Ю., Мордвинова А.В., Некрасов В.П., Сычев А.Н. Расчет параметров легкобрасываемых конструкций для взрывопожароопасных помещений промышленных объектов : рекомендации. М. : ВНИИПО, 2015. 48 с.

15. Пособие по обследованию и проектированию зданий и сооружений, подверженных воздействию взрывных нагрузок. М. : ЦНИИПромзданий, 2000.

16. Draganić H., Varevac D., Lukić S. An overview of methods for blast load testing and devices for pressure measurement // *Advances in Civil Engineering*. 2018. Vol. 2018. Pp. 1–20. DOI: 10.1155/2018/3780482

17. Орлов Г.Г., Корольченко А.Д. Нагрузки, разрушающие строительные конструкции в резуль-

тате аварийных взрывов // *Пожаровзрывобезопасность*. 2016. Т. 25. № 3. С. 45–56. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.03.45-56

18. Bradley D., Mitcheson A. Mathematical solutions for explosions in spherical vessels // *Combustion and Flame*. 1976. Vol. 26. Pp. 201–217. DOI: 10.1016/0010-2180(76)90072-9

19. Crescitelli S., Russo G., Tufano V. Analysis and design of venting systems: A simplified approach // *Journal of Occupational Accidents*. 1979. Vol. 2. Issue 2. Pp. 125–133. DOI: 10.1016/0376-6349(79)90004-x

20. Chmielewski R., Bqk A. Analysis of the safety of residential buildings under gas explosion loads // *Journal of Building Engineering*. 2021. Vol. 43. P. 102815. DOI: 10.1016/j.job.2021.102815

21. Cen K., Song B., Shen R., Zhang Y., Yu W., Wang Q. Dynamic characteristics of gas explosion and its mitigation measures inside residential buildings // *Mathematical Problems in Engineering*. 2019. Vol. 2019. Pp. 1–15. DOI: 10.1155/2019/2068958

Поступила в редакцию 25 июня 2022 г.

Принята в доработанном виде 5 июля 2022 г.

Одобрена для публикации 5 июля 2022 г.

ОБ АВТОРАХ: Ольга Николаевна Корольченко — эксперт органа по сертификации Института комплексной безопасности в строительстве; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ);** 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 1092980; onk7@mail.ru;

Антон Дмитриевич Корольченко — инженер испытательной лаборатории Института комплексной безопасности в строительстве, преподаватель кафедры комплексной безопасности в строительстве; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ);** 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 890113; KorolchenkoAD@mgsu.ru.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Orlov G.G. *Easily reset structures for explosion protection of industrial buildings*. Moscow, Stroyizdat, 1987; 200. (rus.).

2. Pilyugin L.P. *Ensuring the explosion resistance of buildings with the help of safety structures*. Moscow, Fire safety and science, 2000; 224. (rus.).

3. Fakandu B.M., Mbam C.J., Andrews G.E., Phylaktou H.N. Gas explosion venting: External explosion turbulent flame speeds that control the overpressure. *Chemical Engineering Transactions*. 2016; 53:1-6. DOI: 10.3303/CET1653001

4. Li F.G., Chen L. Gas explosion effect on structure damage and control measures. *Applied*

Mechanics and Materials. 2014; 501-504:2424-2427. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amm.501-504.2424

5. Polandov Yu.Kh., Dobrikov S.A., Kukin D.A. Results of tests pressure-relief panels. *Pozharovzryvobezопасnost/Fire and Explosion Safety*. 2017; 26(8):5-14. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.08.5-14 (rus.).

6. Polandov Yu.Kh., Korolchenko D.A., Evich A.A. Conditions of occurrence of fire in the room with a gas explosion. Experimental data. *Pozharovzryvobezопасnost/Fire and Explosion Safety*. 2020; 29(1):9-21. DOI: 10.18322/PVB.2020.29.01.9-21 (rus.).

7. Polandov Yu.Kh., Korolchenko A.D. On conditions enabling resonant combustion in gas explosion in non-enclosed volume. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2018; 27(7-8):9-23. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.07-08.9-23 (rus.).

8. Orlov G.G., Korolchenko D.A., Korolchenko A.Y. Determination of the value and character of the explosive loads in case of using of the inertial safety constructions. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2015; 24(4):47-55. (rus.).

9. Orlov G.G., Korolchenko D.A., Korolchenko A.Y. Economic efficiency of application of explosion-relief valves in order to ensure explosion stability of buildings and constructions. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2015; 24(6):51-57. (rus.).

10. Kadela M., Cincio A., Fedorowicz J., Gerylo R. Attempt at numerical representation of gas explosion in a large panel building. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019; 603(5):052023. DOI: 10.1088/1757-899X/603/5/052023

11. Mohd Mokhtar K., Md Kasmani R., Che Hassan C.R., Hamid M.D., Davazdah Emami S., Mohamad Nor M.I. Reliability and applicability of empirical equations in predicting the reduced explosion pressure of vented gas explosions. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2020; 63:104023. DOI: 10.1016/j.jlp.2019.104023

12. Polandov I.H., Korolchenko A.D. About the danger of vibration combustion in gas explosions in the room. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019; 1425(1):012010. DOI: 10.1088/1742-6596/1425/1/012010

13. Maksakova A.V. Study of normative documentation on the topic of a light-drop design and a proposal for its change. *Youth innovations : collection of materials from the seminar of young scientists*

Received June 24, 2022.

Adopted in revised form on July 5, 2022.

Approved for publication on July 5, 2022.

within the framework of the XXIII International Scientific Conference. 2020; 144-147. (rus.).

14. Gordienko D.M., Lagozin A.Yu., Mordvinova A.V., Nekrasov V.P., Sychev A.N. *Calculation of the parameters of pressure-relief panels for explosive industrial premises. Recommendations*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2015; 48. (rus.).

15. *Manual for the survey and design of buildings and structures exposed to explosive loads*. Moscow, CNIIPZ, 2000. (rus.).

16. Draganić H., Varevac D., Lukić S. An overview of methods for blast load testing and devices for pressure measurement. *Advances in Civil Engineering*. 2018; 2018:1-20. DOI: 10.1155/2018/3780482

17. Orlov G.G., Korolchenko A.D. Loadings which destroy building structures in consequence of emergency explosions. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2016; 25(3):45-56. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.03.45-56.

18. Bradley D., Mitcheson A. Mathematical solutions for explosions in spherical vessels. *Combustion and Flame*. 1976; 26:201-217. DOI: 10.1016/0010-2180(76)90072-9

19. Crescitelli S., Russo G., Tufano V. Analysis and design of venting systems: A simplified approach. *Journal of Occupational Accidents*. 1979; 2(2):125-133. DOI: 10.1016/0376-6349(79)90004-x

20. Chmielewski R., Bąk A. Analysis of the safety of residential buildings under gas explosion loads. *Journal of Building Engineering*. 2021; 43:102815. DOI: 10.1016/j.job.2021.102815

21. Cen K., Song B., Shen R., Zhang Y., Yu W., Wang Q. Dynamic characteristics of gas explosion and its mitigation measures inside residential buildings. *Mathematical Problems in Engineering*. 2019; 2019:1-15. DOI: 10.1155/2019/2068958

B I O N O T E S: **Olga N. Korolchenko** — expert of the certification authority of institute of integrated safety in construction; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 1092980; onk7@mail.ru;

Anton D. Korolchenko — engineer of the testing laboratory of institute of integrated safety in construction, lecturer of the department of integrated safety in civil engineering; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 890113; KorolchenkoAD@mgsu.ru.

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

The authors declare no conflict of interest.

ГИДРАВЛИКА. ГЕОТЕХНИКА. ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 627.33

DOI: 10.22227/1997-0935.2022.7.922-932

Исследование коэффициента отражения волн у причальных сооружений

Наталья Владимировна Шунько, Николай Дмитриевич Зуев

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Изложены экспериментальные исследования, выполненные с целью изучения значений коэффициента отражения волн у конструкций причальных сооружений с передней вертикальной стенкой. Представлены результаты экспериментальных исследований, проведенных на основе физического моделирования.

Материалы и методы. Экспериментальные исследования осуществлялись на основе метода физического моделирования. Исследования с применением этого метода являются неотъемлемой частью научного сопровождения всех проектируемых современных крупных морских грузовых комплексов. Метод физического моделирования применительно к портовым сооружениям позволяет не только получить на модели идентичную с натурным объектом волновую картину, но и непосредственно изучать взаимодействие волн с проектируемыми гидротехническими сооружениями в необходимом временном диапазоне. Эксперименты производились в волновом лотке, входящем в состав научно-экспериментальной базы НОЦ «Гидротехника» НИУ МГСУ, и с применением новейшей измерительной аппаратуры фирмы Wallingford (Великобритания).

Результаты. Экспериментально получены значения коэффициента отражения волн у причального сооружения с передней вертикальной стенкой (тип конструкции причала — больверк) при воздействии на него расчетного шторма. В основном нормативном документе РФ — СП 38.13330.2018 сведения, посвященные определению коэффициента отражения волн, представлены не для всех типов конструкций гидротехнических сооружений и не в полном объеме. Обладая информацией о точных значениях коэффициента отражения волн у различных типов гидротехнических сооружений, например причальных, можно обоснованно понижать их высотную отметку, что приведет в конечном итоге к значительному удешевлению строительства и сокращению сроков возведения объекта.

Выводы. Результаты данных научных исследований обеспечат реализацию возведения новейших проектов морских портов, терминалов и грузовых комплексов, возводимых в сложных природных условиях, в частности в суровых арктических широтах, в регионах с интенсивной добычей углеводородного сырья и сжиженного природного газа. Данное обстоятельство актуально для решения приоритетной задачи современности — строительства новых объектов перегрузочных комплексов Северного морского пути.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: причальное сооружение, больверк, коэффициент отражения волн, параметры волнения, волнограф, гребень волны, физическое моделирование, волногасящая камера

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Шунько Н.В., Зуев Н.Д. Исследование коэффициента отражения волн у причальных сооружений // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 7. С. 922–932. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.7.922-932

Автор, ответственный за переписку: Наталья Владимировна Шунько, natshunko@rambler.ru.

A study on the wave reflection coefficient near berthing facilities

Natalia V. Shunko, Nikolai D. Zuev

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

ABSTRACT

Introduction. The article deals with the experimental studies on values of the wave reflection coefficient near the structures of berthing facilities with a front vertical wall. The authors present the findings of experimental studies conducted in the form of physical modeling.

Materials and methods. The method of physical modeling was employed to conduct the experimental studies. These studies are an integral part of the research project that benefits all modern large marine cargo facilities being designed. The method of physical modeling, applied to port facilities, allows obtaining a model wave, identical to that of a full-scale object, and studying interaction between waves and designed hydraulic engineering structures within a pre-set time range. Experiments were conducted in a wave flume of the Hydraulic Engineering Centre for Research and Experiments at NRU MGSU. The most advanced measuring equipment, produced by Wallingford (UK), was used in the experiment.

Results. As a result of the experiment, the authors obtained values of the coefficient of reflection of waves near a berthing facility with a vertical front wall (the bulwark type of the berthing structure), subjected to the impact of a standard storm.

The main Russian regulatory document, SP (Construction regulations) 38.13330.2018 doesn't have information about the definition of the wave reflection coefficient for all types of hydraulic structures, and the information available there is not exhaustive. The availability of information about the exact values of the wave reflection coefficient for various types of hydraulic structures, such as berthing facilities, can reasonably reduce their elevation, that will ultimately lead to a substantial reduction in construction costs and time.

Conclusions. The results of these scientific studies will ensure the successful implementation of the most recent designs of seaports, terminals and cargo complexes in unfavourable natural environments, including the harsh climate of Arctic latitudes, regions where raw hydrocarbons and liquefied natural gas are intensively extracted. This will help to solve the priority task of our time: construction of new transshipment facilities along the Northern Sea Route.

KEYWORDS: berthing structure, bulwark, wave reflection coefficient, wave parameters, wave gauge, wave crest, physical modeling, wave damping chamber.

FOR CITATION: Shunko N.V., Zuev N.D. A study on the wave reflection coefficient near berthing facilities. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2022; 17(7):922-932. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.7.922-932 (rus.).

Corresponding author: Natalia V. Shunko, natshunko@rambler.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Представленные в данной работе экспериментальные исследования, проведенные с применением современной измерительной аппаратуры, осуществлялись впервые в научной практике. Целью представленных экспериментальных исследований являлось уточнение и внесение дополнений в раздел СП 38.13330.2018¹ «Элементы волн на огражденной акватории», посвященный определению значений коэффициента отражения волн у причальных сооружений, при воздействии на них расчетного шторма.

При проектировании причальных сооружений на морских портовых акваториях необходимо исключить воздействие ветровых волн на верхнее сооружение причала. С этой целью применяют инженерные расчеты верхней отметки сооружения с учетом превышения гребня волны над расчетным уровнем моря в соответствии с рекомендациями СП 38.13330.2018¹.

Конструкции сооружений причалов часто выполняют в виде больверка [2–4]. Как известно, волны малой крутизны на передней вертикальной стенке больверка формируют гребень, вдвое превышающий исходный, из-за взаимодействия подходящих к вертикальной стенке волн, с отраженными от нее волнами. Коэффициент отражения волн от причала данного типа близок к единице.

Как показали экспериментальные исследования², применение конструкций свайного типа с тыловой шпунтовой стенкой и подпричальным откосом не всегда дает желаемый эффект уменьшения коэффициента отражения волн. При этом расходы на строительство таких конструкций причалов возрастают пропорционально значению высоты ветровой волны. Следовательно, проводя мероприятия по снижению коэффициента отражения волн от со-

оружения, можно существенно уменьшить стоимость строительства причальных сооружений [3, 4].

Представленная в данной работе тема становится наиболее актуальной в связи с развитием инфраструктуры существующих и строительством новых северных морских портов, терминалов и комплексов, в районах с богатыми минерально-сырьевыми месторождениями и в соответствии с документом «Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года», утвержденным указом Президента России 26 октября этого года. Ключевой проблемой «Стратегии...» является низкий уровень развития транспортной инфраструктуры Северного морского пути (СМП). Как известно, регион Северного морского пути характеризуется крайне суровыми природными условиями: длительными периодами времени с низкими температурами воздуха; значительными колебаниями уровней воды, вызываемыми приливо-отливными и сгонно-нагонными явлениями; приливо-отливными течениями; наличием припайных и дрейфующих ледяных образований [5–7]. А в безледные периоды года эти регионы характеризуются еще жесткими штормами со значительными параметрами ветровых волн. Дальневосточным регионам присуща повышенная сейсмическая активность. Важными гидротехническими сооружениями морских грузовых портов, терминалов и комплексов являются причальные сооружения, которые необходимо возвести в сжатые сроки, максимально используя благоприятные «окна» погоды.

Таким образом, представляется наиболее интересным и важным исследование методами физического моделирования на уменьшенных копиях сооружений причалов с изучением возможности понижения значений коэффициента отражения волн у данных сооружений.

¹ СП 38.13330.2018. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). Актуализированная редакция СНиП 2.06.04-82*. Издание официальное. Министерство регионального развития РФ. 2018.

² Отчет о НИР. «Физическое моделирование волновых процессов и работы конструкций сооружений для обеспечения разработки проектной документации на строительство объекта “Комплекс перегрузки угля «Лавна» в морском порту Мурманск”». Этап № 2 «Физическое моделирование в волновом лотке взаимодействия волн с сооружением комплекса». М. : НИУ МГСУ, 2018.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Экспериментальные исследования проводились на основе метода физического моделирования. В процессе научного сопровождения, в состав которого входит физическое моделирование, в каждом конкретном случае решаются в первую очередь те вопросы, на которых нет ответов в действующих нормативных документах. Получить такие ответы возможно лишь на основании анализа результатов правильно поставленных экспериментальных исследований в лабораторных условиях [8–10]. Результаты натурных исследований имеют безусловно большую ценность, но их проведение связано со значительными затратами и зависимостью от погодных условий. При этом возможность варьирования исходными параметрами отсутствует. Лабораторные эксперименты являются предпочтительными, так как лишены этих недостатков.

Экспериментальные исследования проведены в волновом комплексе научно-исследовательской лаборатории «Гидротехнические сооружения» НОЦ «Гидротехника» НИУ МГСУ. В опытах было использовано оборудование фирмы HR Wallingford (Великобритания) с автоматизированной системой сбора и обработки экспериментальной информации в режиме реального времени, включающей: датчики-волнографы; 8-канальный электронный блок опроса волнографов; пакет комплексных программ для выбора режима работы, статистической обработки и визуализации данных экспериментов. Средняя квадратичная погрешность измерения высоты волны в экспериментах составляла не более $\pm 2\%$, а доверительный интервал — не менее 90 %.

Все приведенные в статье параметры указаны в натурных величинах, без пересчета на модель.

Экспериментальные исследования в волновом лотке по изучению работы конструкции причального сооружения проводились для проектируемого объекта: Центр строительства крупнотоннажных морских сооружений (ЦСКМС), Комплекс для изготовления оснований гравитационного типа и интеграции модулей верхних строений, расположенного в районе побережья Кольского залива, у мыса Белокаменный и мыса Великий³.

Основная конструкция причала с передней сплошной свайной вертикальной стенкой (рис. 1) на примере четырех опытов дорабатывалась различными волногасящими приспособлениями для уменьшения результирующей высоты волны у сооружения. В частности, были рассмотрены вариации устройства камер гашения с установкой их с различным шагом в сплошной свайной вертикальной стенке причала [3, 4].

В опытах была использована стандартная методика [11–15] с соблюдением подобия между натурной конструкцией и модельной по числу Фруда, при масштабном коэффициенте $M = 1/50$. Волновые параметры волн шторма юго-восточного направления в экспериментах составили: $h_{1\%} = 1,7$ м, $T_{\text{ср}} = 3,1$ с (сооружение I класса). Длина волны — $\lambda = 15,0$ м. Уровень воды 1 % обеспеченности составил: +2,270 м БС. Верхняя отметка кордона причала: +4,000 м БС.

Измерение коэффициента отражения осуществлялось с помощью специальной установки (разработчик — фирма HR Wallingford (Великобритания)), включающей четыре датчика волнения [16–19], регистрирующих колебания водной поверхности в процессе опыта, их расположение представлено на рис. 2.

Расчет коэффициента отражения волн Cr проводился по методике, приведенной в источниках [16–20].

Всего было проведено четыре опыта.

Опыт № 1. Изучение работы конструкции причала в виде сплошной вертикальной свайной стенки

Модель причального сооружения перед экспериментами приведена на рис. 3.

Экспериментальные исследования приведены на рис. 4.

Опыт № 2. Изучение работы конструкции причала с наличием камер гашения в передней вертикальной свайной стенке, с шагом установки $S = 40,19$ м

Готовая к эксперименту модель приведена на рис. 5.

Экспериментальные исследования приведены на рис. 6.

Опыт № 3. Изучение работы конструкции причала с наличием камер гашения в передней вертикальной свайной стенке, с шагом их установки $S = 12,5$ м

Готовая к эксперименту модель приведена на рис. 7.

Экспериментальные исследования в опыте № 3 приведены на рис. 8.

Опыт № 4. Изучение работы конструкции причала с наличием камер гашения в передней вертикальной свайной стенке (шаг установки $S = 12,5$ м) и откосом из каменной наброски в камере гашения

Условия эксперимента соответствовали предыдущим опытам. В тыловой части свайной вертикальной стенки был установлен каменный откос

³ Отчет о НИР. Математическое и физическое моделирование волновых процессов, для обеспечения разработки проектной документации по объекту «Центр строительства крупнотоннажных морских сооружений (ЦСКМС). Комплекс для изготовления оснований гравитационного типа и интеграции модулей верхних строений». Арх. 7260/р.349-17. М.: НИУ МГСУ, 2017.

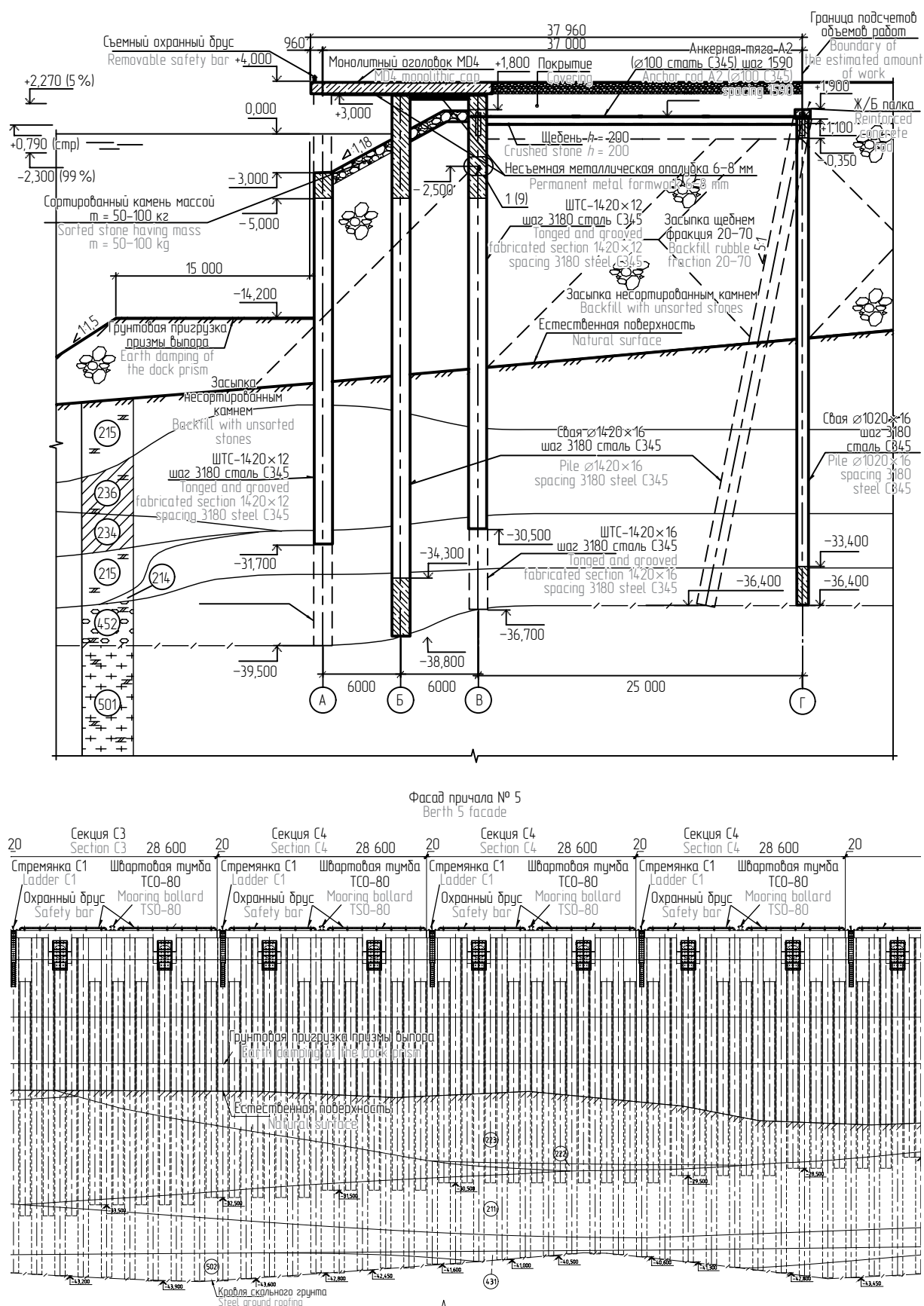


Рис. 1. Модель конструкции причального сооружения с передней вертикальной свайной стенкой — поперечное сечение и фрагмент фасада

Fig. 1. Model of the construction of a berthing facility with a vertical front piling wall: a cross section and a fragment of the facade

с уклоном 1:1,8 (рис. 9). Каменная наброска откоса была представлена сортированным камнем с массой 50,0–100,0 кг.

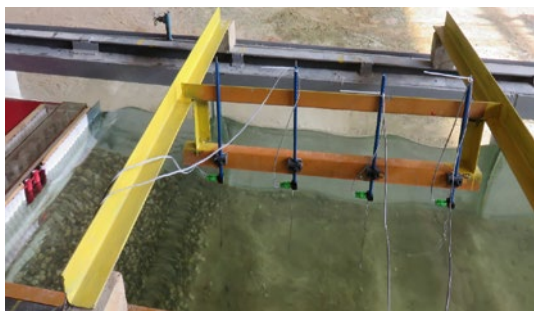


Рис. 2. Датчики-волнографы в рабочем положении

Fig. 2. Wave gauge sensors in the working position



Рис. 3. Подготовленная к опыту № 1 модель причала в волновом лотке

Fig. 3. Model of a berth in a wave flume prepared for Experiment 1



Рис. 4. Воздействие волн ЮВ направления на модель причала в опыте № 1

Fig. 4. Impact of SE waves on the berth model in Experiment 1

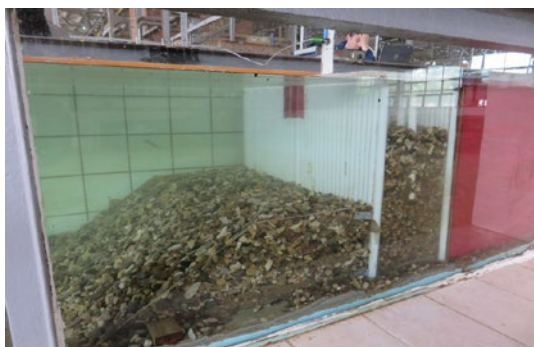


Рис. 5. Подготовленная к опыту № 2 модель причала в волновом лотке

Fig. 5. Model of a berth in a wave flume prepared for Experiment 2

Экспериментальные исследования приведены на рис. 10.



Рис. 6. Воздействие волн ЮВ направления на модель причала в опыте № 2

Fig. 6. Impact of SE waves on the berth model in Experiment 2



Рис. 7. Модель причала опыта № 3 в волновом лотке

Fig. 7. Berth model in the wave flume in Experiment 3



Рис. 8. Воздействие волн ЮВ направления на модель причала в опыте № 3

Fig. 8. Impact of SE waves on the berth model in Experiment 3



Рис. 9. Вид каменного откоса за вертикальной стенкой причала в опыте № 4

Fig. 9. A stone slope behind the vertical wall of the pier in Experiment 4



Рис. 10. Воздействие волн ЮВ направления на модель причала в опыте № 4

Fig. 10. Impact of SE waves on the berth model in Experiment 4

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результат анализа измерения коэффициента отражения волн от изучаемой конструкции сооружения причала в **опыте № 1** приведен на рис. 11.

На основании проведенного **опыта № 1** по исследованию воздействия шторма юго-восточного направления на конструкцию причального сооружения, выполненную в виде сплошной вертикальной свайной стенки, установлено:

- зафиксирован заплеск на сооружение, достигающий отметки +4,500 м;
- отмечен перелив воды через монолитный оголовок конструкции причала по фронту движения волны;

- сброс элементов каменной отсыпки у свай конструкции в опыте отсутствовал;

- коэффициент отражения волн у вертикальной стенки причала составил $Cr = 0,7$.

Результат анализа измерения коэффициента отражения волн от изучаемой конструкции сооружения причала в **опыте № 2** приведен на рис. 12.

На основании проведенного **опыта № 2** по исследованию воздействия шторма ЮВ направления на конструкцию причала с наличием камер гашения в передней вертикальной свайной стенке, с шагом установки $S = 40,19$ м, выявлено:

- зафиксирован заплеск на сооружение, достигающий отметки +4,500 м;

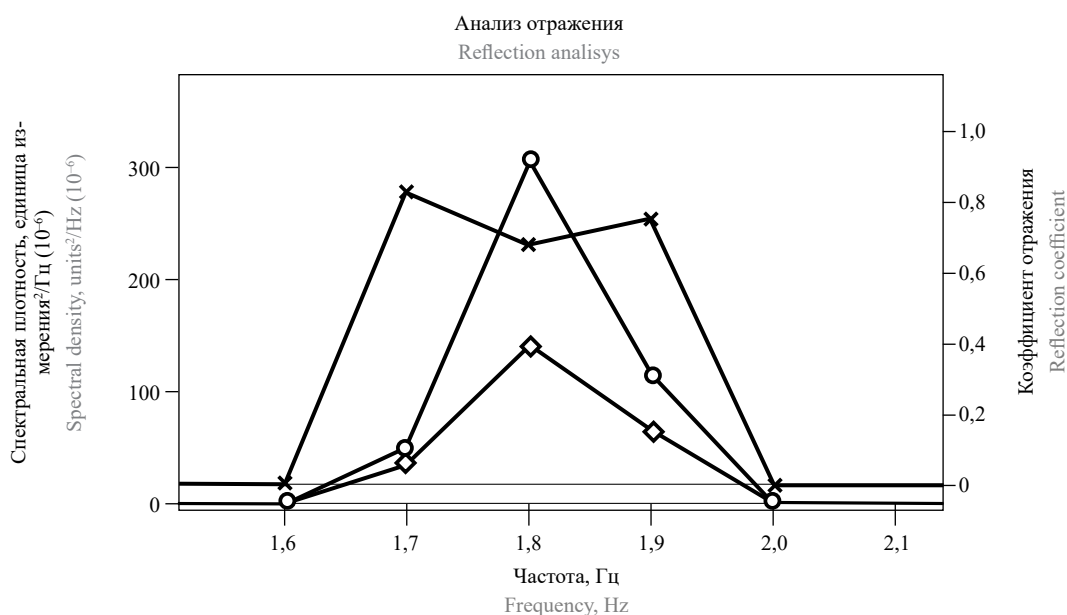


Рис. 11. Анализ экспериментальных данных в опыте № 1: —○— график спектральной энергии падающей волны; —◇— график спектральной энергии отраженной волны; —×— общий коэффициент отражения

Fig. 11. Analysis of experimental data obtained in Experiment 1: —○— the graph of the spectral energy of the incident wave is indicated; —◇— the graph of the spectral energy of the reflected wave is indicated; —×— the total reflection coefficient is indicated

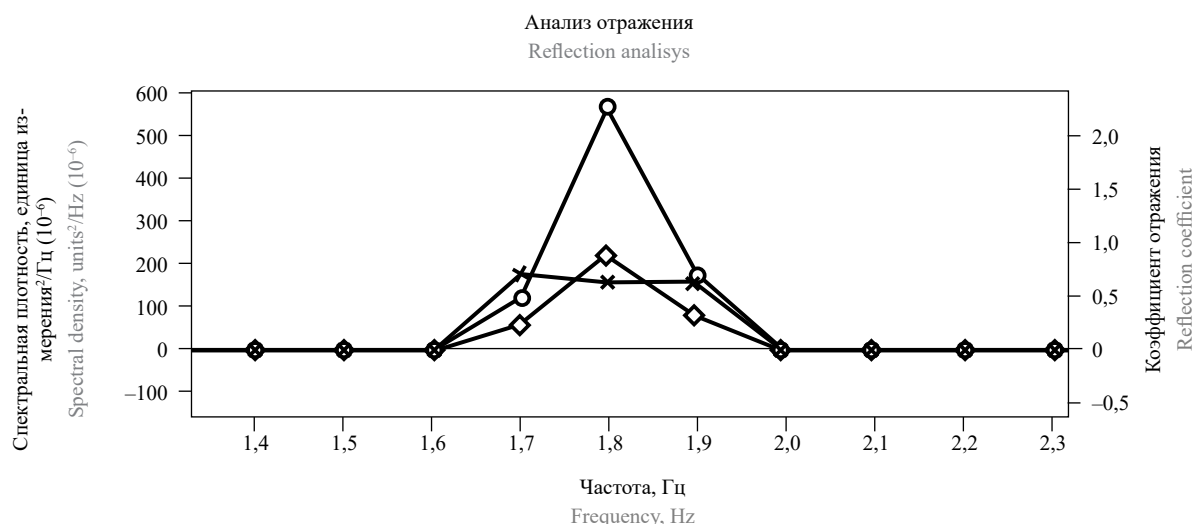


Рис. 12. Анализ экспериментальных данных в опыте № 2: —○— график спектральной энергии падающей волны; —◇— график спектральной энергии отраженной волны; —×— общий коэффициент отражения

Fig. 12. Analysis of experimental data obtained in Experiment 2: —○— the graph of the spectral energy of the incident wave is indicated; —◇— the graph of the spectral energy of the reflected wave is indicated; —×— the total reflection coefficient is indicated

- отмечен перелив воды через монолитный оголовок конструкции причала по фронту движения волны;
- сброс элементов каменной отсыпки у свай конструкции в опыте отсутствовал;
- коэффициент отражения волн у вертикальной стенки причала составил $Cr = 0,6$.

Результат анализа измерений коэффициента отражения волн от изучаемой конструкции сооружения причала в опыте № 3 приведен на рис. 13.

На основании проведенного опыта № 3 по исследованию воздействия шторма юго-восточного направления на конструкцию причального сооружения с наличием камер гашения в передней вертикальной свайной стенке, с шагом их установки $S = 12,5$ м, было установлено:

- заплеск на сооружение причала — не зафиксирован;
- гребень волны в камере гашения достигал низовой грани ростверка;
- перелив воды через верхнее строение конструкции причала по фронту движения волны не зафиксирован;
- сброс элементов каменной отсыпки у свай конструкции в опыте отсутствовал;
- коэффициент отражения волн у вертикальной стенки причала составил $Cr = 0,5$.

Результат анализа измерения коэффициента отражения волн от изучаемой конструкции сооружения причала в опыте № 4 приведен на рис. 14.

На основании проведенного опыта № 4 по исследованию воздействия шторма юго-восточного

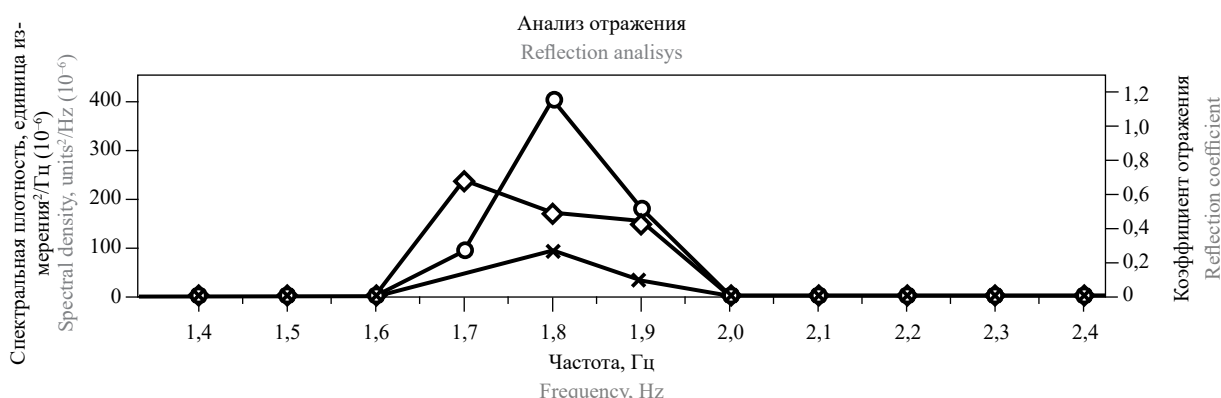


Рис. 13. Анализ экспериментальных данных в опыте № 3: —○— график спектральной энергии падающей волны; —◇— график спектральной энергии отраженной волны; —×— общий коэффициент отражения

Fig. 13. Analysis of experimental data obtained in Experiment 3: —○— the graph of the spectral energy of the incident wave is indicated; —◇— the graph of the spectral energy of the reflected wave is indicated; —×— the total reflection coefficient is indicated

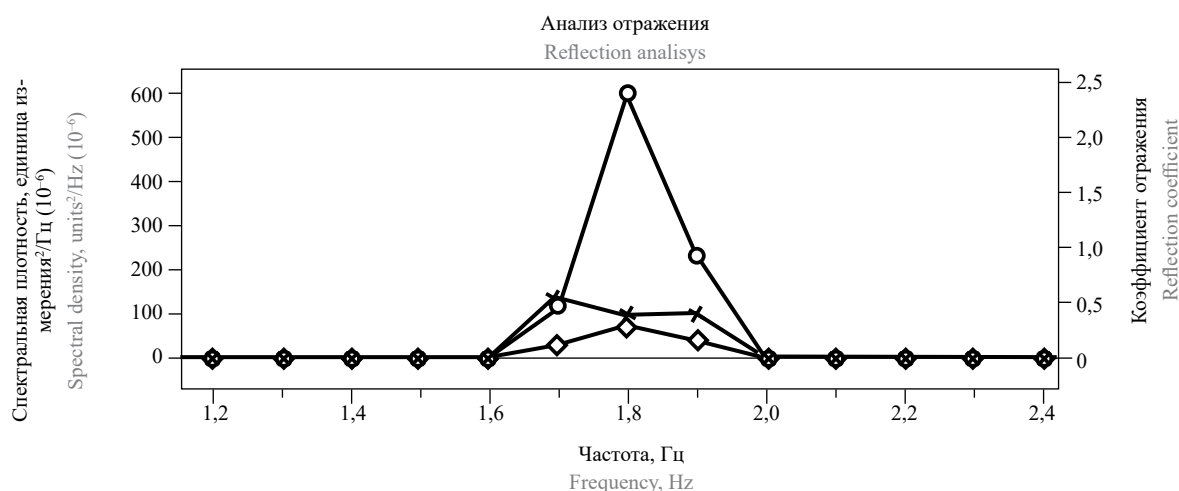


Рис. 14. Анализ экспериментальных данных в опыте № 4: —○— график спектральной энергии падающей волны; —◇— график спектральной энергии отраженной волны; —×— общий коэффициент отражения

Fig. 14. Analysis of experimental data obtained in Experiment 4: —○— the graph of the spectral energy of the incident wave is indicated; —◇— the graph of the spectral energy of the reflected wave is indicated; —×— the total reflection coefficient is indicated

направления на конструкцию причального сооружения с наличием камер гашения в передней вертикальной свайной стенке (шаг установки $S = 12,5$ м) и откосом из каменной наброски в камере гашения было установлено:

- заплеск на сооружение причала не фиксировался;
- гребень волны в камере гашения не достигал низовой грани ростверка;
- перелив воды через верхнее строение конструкции причала по фронту движения волны не фиксировался;
- сброс элементов каменной отсыпки у свай конструкции в опыте отсутствовал;
- коэффициент отражения волн у вертикальной стенки причала составил $Cr = 0,4$.

Результаты экспериментальных исследований по четырем опытам сведены в табличную форму и приведены в таблице.

По результатам исследований волногасящих свойств причального сооружения с конструкцией типа больверк можно сделать вывод, что наиболее

эффективным показало себя причальное сооружение с шагом камер гашения 12,5 м и наличием каменной отсыпки в камере гашения.

На основании анализа результатов проведенных экспериментальных исследований по изучению эффективности конструкций причальных сооружений с вертикальной сплошной свайной стенкой сформулированы следующие выводы:

- применение у причальных сооружений с вертикальной сплошной свайной стенкой волногасящих камер с каменной отсыпкой и уменьшением шага установки таких камер: от значений $S/\lambda = 2,7$ до значений $S/\lambda = 0,8$ позволяет уменьшить коэффициент отражения волн со значений 0,7 до значений 0,4;
- понижение значений коэффициента отражения волн у передних вертикальных стенок причальных сооружений позволит уменьшить высоту ростверка причала, снизить его высотную отметку и, следовательно, оптимизировать стоимость возведения такого сооружения. Сроки возведения такого объекта существенно сокращаются;

Сводная таблица значений коэффициента отражения волн от передней вертикальной стенки причального сооружения (тип больверк)

Summary table of wave reflection coefficient values from the front vertical wall of the berthing structure (bulwark type)

Номер опыта Experiment number	Шаг камер гашения, м Wave damping chamber spacing, m	Наличие откоса в камере гашения Availability of a slope in a wave damping chamber	Значение коэффициента отражения C_r Value of reflection coefficient C_r
1	Без камер гашения No wave damping chamber	—	0,7
2	40 190	—	0,6
3	12 500	—	0,5
4	12 500	Есть / Yes	0,4

• отмечается хорошая работа компьютерной программы HR DAQ по измерению коэффициентов отражения волн от гидротехнических сооружений, с получением достаточной точности результатов, регистрируемых измерительной аппаратурой фирмы Wallingford (Великобритания).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Воздействие ветровых волн на морские гидротехнические сооружения представляет собой весьма сложный процесс, связанный с многообразием исходных данных, подлежащих учету на различных стадиях выполнения проекта. В основных нормативных документах, в частности СП 38.13330.2018¹, рассмотрены не все расчетные сценарии взаимодействия волн и сооружений. Возможны ситуации, когда отсутствуют рекомендации для расчета сооружения, конструкция которого или регион эксплуатации не встречались ранее в проектной практике. Сложность проектирования гидротехнических сооружений связана также с необходимостью учета взаимовлияния различных факторов на работу таких сооружений, которые в каждом новом районе строительства существенно отличаются друг от друга. Следует отметить уникальность и неповторимость, по ряду признаков, самих конструк-

ций гидротехнических сооружений, что также вносит свои сложности в необходимые проектные расчеты. Особенно актуально это для северных районов нашей страны, где в последнее время идет оживленное строительство грузовых причальных линий в составе морских перегрузочных комплексов природных ресурсов в очень сложных условиях. НИУ МГСУ регулярно осуществляет научное сопровождение подобных объектов, в том числе и с применением обширной научно-экспериментальной базы для выполнения физического моделирования [21–23]. Ко всему вышесказанному следует добавить, что и многие расчетные зависимости в действующих нормативах выводились преимущественно эмпирическим путем, причем достаточно давно. В связи с этим крайне необходимо их дополнительное уточнение с проведением крупномасштабных экспериментальных исследований, в том числе, с применением современной точной измерительной аппаратуры.

Таким образом, перспективы применения метода физического моделирования, с задействованием в экспериментах новейшей измерительной аппаратуры и уникального лабораторного оборудования для разработки уточнений, дополнений в рекомендации нормативных документов Российской Федерации, а в ряде случаев и новых разделов, довольно значительны.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Рогачко С.И., Шунько Н.В. Научное сопровождение проектирования берегозащитных сооружений // Вестник МГСУ. 2016. № 12. С. 103–113. DOI: 10.22227/1997-0935.2016.12.103-113
2. Зувев С.С., Рубцова С.С. Применение специальных геотехнических технологий в портовом строительстве // Гидротехника. 2020. № 4 (61). С. 64–69.
3. Гавриленко В.А. Строительство причалов на слабом основании // Гидротехника. 2013. № 1 (30). С. 73–75.
4. Шахин В.М., Бакланов А.А., Радионов А.Е. Объемные подпричальные волногасители // Гидротехника. 2018. № 4 (53). С. 30–31.
5. Рогачко С.И. Проблемы проектирования морских портов в северных широтах // Гидротехника. 2020. № 4 (61). С. 36–39.
6. Мирзоев Д.А. Морские нефтегазопромысловые гидротехнические сооружения — актуальные проблемы и перспективы развития // Гидротехника. 2021. № 4 (65). С. 5–9.
7. Мудрик И.В. Производственный кластер по изготовлению железобетонных оснований гравитационного типа в рамках развития инфраструктуры Арктики и Северного морского пути // Гидротехника. 2020. № 4 (61). С. 28–30.
8. Zuev N.D., Shun'ko A.S., Shun'ko N.V. Investigation of coefficient of reflection of waves produced by

a rock-fill inclined bank protection structure // Power Technology and Engineering. 2019. Vol. 53. Issue 1. Pp. 29–32. DOI: 10.1007/s10749-019-01029-5

9. Зувев Н.Д., Шунько А.С., Шунько Н.В. Исследование коэффициента отражения волн от гидротехнического сооружения сквозного типа с подпричальным откосом // Экономика строительства и природопользования. 2021. № 3 (80). С. 139–149. DOI: 10.37279/2519-4453-2021-3-139-149

10. Roušar L., Zachoval Z., Julien P. Incipient motion of coarse uniform gravel // Journal of Hydraulic Research. 2016. Vol. 54. Issue 6. Pp. 615–630. DOI: 10.1080/00221686.2016.1212286

11. Кантарджи И.Г., Мордвинцев К.П. Численное и физическое моделирование в МГСУ морских портовых гидротехнических сооружений // Наука и Безопасность. 2015. № 2 (15). С. 2–16.

12. Kantardgi I.G., Zheleznyak M.J. Laboratory and numerical study of waves in the port area // Magazine of Civil Engineering. 2016. № 6 (66). С. 49–59. DOI: 10.5862/MCE.66.5

13. Hughes S.A. Physical models and laboratory techniques in coastal engineering // Advanced Series on Ocean Engineering. 1993. DOI: 10.1142/2154

14. Пуляев С.И. Особенности моделирования волновых процессов на акваториях портов // Вестник МГСУ. 2010. № 4. Т. 2. С. 30–35.

15. Arrault A., Finaud-Guyot P., Archambeau P., Bruwier M., Erpicum S., Piroton M. et al. Hydrodynamics of long-duration urban floods: experiments and numerical modeling // *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2016. Vol. 16. Issue 6. Pp. 1413–1429. DOI: 10.5194/nhess-16-1413-2016

16. Beresford P.J. HR Wave Maker. Wave generation control program. Software manual // *HR Report IT 453*. 2003. Issue 5.

17. Kajima R. Estimation of an incident wave spectrum under the influence of reflection // *Coastal Engineering in Japan*. 1969. Vol. 12. Issue 1. Pp. 9–16. DOI: 10.1080/05785634.1969.11924086

18. Aziz Tayfun M. Sampling-rate errors in statistics of wave heights and periods // *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*. 1993. Vol. 119. Issue 2. Pp. 172–192. DOI: 10.1061/(asce)0733-950x(1993)119:2(172)

19. Perrott D. How to determine analogue sampling system parameters // *Based on Instrument Users' Note No. 54*, May 1984. Internal memo, HR Wallingford, Dec. 1992. Pp. 41–47.

20. Altomare C., Gironella X., Sospedra J. Wave reflection: small and large scale experiments on wave absorbing quay walls // *Conference: Coasts, Marine Structures and Breakwaters*. 2013.

21. Приходько О.А., Зуев Н.Д., Шунько А.С., Шунько Н.В. Исследование эффективности волнозащитных сооружений портового комплекса нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств ЗАО «Восточная нефтехимическая компания» // *Вестник МГСУ*. 2016. Т. 12. № 5 (104). С. 496–505. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.5.496-505

22. Шунько А.С., Шунько Н.В. Физическое моделирование грузового причала терминала «Утренний» // *Промышленное и гражданское строительство*. 2021. № 9. С. 47–51. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.09.47-51

23. Зуев Н.Д., Шунько А.С., Шунько Н.В. Физическое моделирование проектируемого морского терминала Находкинского завода минеральных удобрений // *Гидротехническое строительство*. 2022. № 1. С. 37–40.

Поступила в редакцию 30 мая 2022 г.

Принята в доработанном виде 4 июля 2022 г.

Одобрена для публикации 4 июля 2022 г.

ОБ АВТОРАХ: Наталья Владимировна Шунько — кандидат технических наук, заведующая НИЛ «Гидротехнические сооружения», руководитель НОЦ «Гидротехника»; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 22255075, Scopus: 57191531249, ResearcherID: AAE-9024-2022, ORCID: 0000-0002-2967-9710; natshunko@rambler.ru;

Николай Дмитриевич Зуев — кандидат технических наук, заведующий сектором измерений НИЛ «Гидротехнические сооружения»; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 1156386; nd43zuev@yandex.ru.

Вклад авторов:

Шунько Н.В. — идея, концепция исследования, развитие методики исследований, руководство и организация проведения экспериментов, написание статьи, научное редактирование текста.

Зуев Н.Д. — развитие методики исследований, разработка методики строительства физической модели, подготовка и отладка измерительной аппаратуры, проведение экспериментов, научное редактирование текста.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Rogachko S.I., Shun'ko N.V. Scientific Monitoring of Bank Protection Structures Designing. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2016; 12:103-113. DOI: 10.22227/1997-0935.2016.12.103-113 (rus.).

2. Zuev S.S., Rubtsova S.S. Using special geotechnical solutions in port construction projects. *Hydrotechnics*. 2020; 4(61):64-69. (rus.).

3. Gavrilenko V.A. Construction of berths on a weak foundation. *Hydrotechnics*. 2013; 1(30):73-75. (rus.).

4. Shakhin V.M., Baklanov A.A., Radionov A.E. Volumetric sub-berth wave dampers. *Hydrotechnics*. 2018; 4(53):30-31. (rus.).

5. Rogachko S.I. Possible challenges in designing of seaports in north polar region. *Hydrotechnics*. 2020; 4(61):36-39. (rus.).

6. Mirzoyev D. Current challenges and development prospects of offshore oil and gas hydrotechnical facilities. *Hydrotechnics*. 2021; 4(65):5-9. (rus.).

7. Mudrik I.V. Creation of a CGBs production cluster as part of the arctic and NSR infrastructure de-

velopment project. *Hydrotechnics*. 2020; 4(61):28-30. (rus.).

8. Zuev N.D., Shun'ko A. S., Shun'ko N.V. Investigation of coefficient of reflection of waves produced by a rock-fill inclined bank protection structure. *Power Technology and Engineering*. 2019; 53(1):29-32. DOI: 10.1007/s10749-019-01029-5

9. Zuev N.D., Shunko A.S., Shunko N.V. Study of the wave reflection coefficient from a through-type hydraulic structure with a berthing slope. *Economics of construction and nature management*. 2021; 3(80):139-149. DOI: 10.37279/2519-4453-2021-3-139-149 (rus.).

10. Roušar L., Zachoval Z., Julien P. Incipient motion of coarse uniform gravel. *Journal of Hydraulic Research*. 2016; 54(6):615-630. DOI: 10.1080/00221686.2016.1212286

11. Kantarzhii I.G., Mordvintsev K.P. Numerical and physical modeling in MGSU of marine port hydraulic structures. *Science and Security*. 2015; 2(15):2-16. (rus.).

12. Kantardgi I.G., Zheleznyak M.J. Laboratory and numerical study of waves in the port area. *Magazine of Civil Engineering*. 2016; 6(66):49-59. DOI: 10.5862/MCE.66.5

13. Hughes S.A. Physical models and laboratory techniques in coastal engineering. *Advanced Series on Ocean Engineering*. 1993. DOI: 10.1142/2154

14. Pilyaev S.I. Features of wave processes modeling on water areas in ports. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2010; 4(2):30-35. (rus.).

15. Arrault A., Finaud-Guyot P., Archambeau P., Bruwier M., Erpicum S., Piroton M. et al. Hydrodynamics of long-duration urban floods: experiments and numerical modelling. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2016; 16(6):1413-1429. DOI: 10.5194/nhess-16-1413-2016

Received May 30, 2022.

Adopted in revised form on July 4, 2022.

Approved for publication on July 4, 2022.

16. Beresford P.J. HR Wave Maker. Wave generation control program. Software manual. *HR Report IT 453*. 2003; 5.

17. Kajima R. Estimation of an incident wave spectrum under the influence of reflection. *Coastal Engineering in Japan*. 1969; 12(1):9-16. DOI: 10.1080/05785634.1969.11924086

18. Aziz Tayfun M. Sampling-rate errors in statistics of wave heights and periods. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*. 1993; 119(2):172-192. DOI: 10.1061/(asce)0733-950x(1993)119:2(172)

19. Perrott D. How to determine analogue sampling system parameters. *Based on Instrument Users' Note No. 54, May 1984. Internal memo, H.R. Wallingford, Dec. 1992*; 41-47.

20. Altomare C., Gironella X., Sospedra J. Wave reflection: small and large scale experiments on wave absorbing quay walls. *Conference: Coasts, Marine Structures and Breakwaters*. 2013.

21. Prikhod'ko O. A., Zuev N.D., Shunko A.S., Shunko N.V. Study of effectiveness of breakwater structures of the "Eastern Petrochemical Company" JSC Oil Refinery and Petrochemical Plants Port Complex. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2016; 12(5):496-505. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.5.496-505 (rus.).

22. Shunko A.S., Shunko N.V. Physical modeling of the cargo berth of the terminal "Utrenny". *Industrial and Civil Engineering*. 2021; 9:47-50. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.09.47-51 (rus.).

23. Zuev N.D., Shunko A.S., Shunko N.V. Physical modeling of the projected sea terminal of the Nakhodka mineral fertilizers plant. *Power Technology and Engineering*. 2022; 1:37-40. (rus.).

B I O N O T E S: **Natalia V. Shunko** — Candidate of Technical Sciences, Head of the Research Laboratory "Hydraulic Engineering Structures", Head of the REC "Hydrotechnics"; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 22255075, Scopus: 57191531249, ResearcherID: AAE-9024-2022, ORCID: 0000-0002-2967-9710; natshunko@rambler.ru;

Nikolai D. Zuev — Candidate of Technical Sciences, Head of the Measurement Sector of the Scientific Research Laboratory "Hydraulic Engineering Structures"; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 1156386; nd43zuev@yandex.ru.

Contribution of the authors:

Natalia V. Shunko — idea, concept of research, development of research methodology, management and organization of experiments, writing an article, scientific editing of the text.

Nikolai D. Zuev — development of research methods, development of methods for building a physical model, preparation and debugging of measuring equipment, conducting experiments, scientific editing of the text.

The authors declare that there is no conflict of interest.

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 627 : 628

DOI: 10.22227/1997-0935.2022.7.933-943

Разработка и обоснование универсальной конструкции для энергетических испытаний в проточных трактах гидроэлектростанций

Антон Сергеевич Антонов^{1,2}, Никита Павлович Караблин¹,
Владимир Александрович Минаков¹, Алексей Валерьевич Карпинский¹
¹ Филиал АО «Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт «Гидропроект»
им. С.Я. Жука» — «Научно-исследовательский институт энергетических сооружений»
(Филиал АО «Институт Гидропроект» — «НИИЭС»); г. Москва, Россия;
² Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(НИУ МГСУ); г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Представлен один из способов получения фактических энергетических характеристик гидроагрегатов с применением металлической рамной конструкции с откидным поворотным рядом, рассмотрены достоинства данного способа, выполнены прочностные и гидравлические расчеты. Расчетные исследования напряженно-деформируемого состояния с учетом фактического гидродинамического давления позволили выбрать оптимальное расположение измерительного створа, спроектировать конструкцию рамы, а затем добиться высокой точности измерений энергетических характеристик.

Материалы и методы. Для выбора универсальной рамной конструкции, при проведении энергетических исследований, проанализированы ведущие мировые публикации по данной тематике, а также архивные материалы. Определены наиболее перспективные направления, учтены достоинства и недостатки предлагаемых решений. Выполнены комплексные расчетные исследования в универсальном промышленном программном комплексе ANSYS Mechanical и ANSYS CFX специализированном модуле для моделирования течения жидкостей и газов с учетом турбулентности.

Результат. При гидравлическом моделировании определены створ с наименьшим искажением потока, углы наклона вертушек на величину, достаточную для минимизации и учета натеканий. Нагрузки от потока учтены при расчетах напряженно-деформируемого состояния универсальной рамной конструкции, подобраны оптимальные конструктивные решения для обеспечения прочности и надежности металлических элементов. Выявлены зоны концентрации напряжений для контроля при монтаже и проведении исследований.

Выводы. На основании данных математического моделирования и экспериментальных натурных исследований обоснована универсальная рамная конструкция для проведения энергетических испытаний. Расчетное определение створа, проектирование универсальной конструкции позволили добиться погрешности измерений КПД $\pm 0,67\%$, что соответствует ведущим мировым стандартам.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: энергетические испытания, напряженно-деформированное состояние конструкций, гидравлический режим, ANSYS, ANSYS CFX, расчетные исследования, метод конечных элементов

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Антонов А.С., Караблин Н.П., Минаков В.А., Карпинский А.В. Разработка и обоснование универсальной конструкции для энергетических испытаний в проточных трактах гидроэлектростанций // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 7. С. 933–943. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.7.933-943

Автор, ответственный за переписку: Антон Сергеевич Антонов, Antonov.An.S@yandex.ru.

Development and justification of universal designs for energy tests in flow paths of hydroelectric power plants

Anton S. Antonov^{1,2}, Nikita P. Karablin¹, Vladimir A. Minakov¹, Alexey V. Karpinsky¹
¹ Branch of JSC “Design and survey and research Institute “Hydroproject” them. S.Y. Zhuka” —
“Research Institute of Energy Structures” (Branch of JSC “Institute Hydroproject” — “NIIES”);
Moscow, Russian Federation;
² Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The authors present one of methods for measuring water flows through the intake of a hydroelectric power plant. The new structure has a metal frame and a folding rotary row. The authors analyzed the advantages of the proposed,

and mass strength and hydraulic analyses. Computational studies of the stress-strain state, made with account taken of the actual hydrodynamic pressure, allow choosing the optimal position of measurement points, designing a frame structure, and making highly accurate measurements of energy characteristics.

Materials and methods. Top international publications, as well as archived materials, were analyzed to select the universal frame structure. The most promising directions were identified; the advantages and disadvantages of the proposed solutions were taken into account. Complex computational studies were performed using ANSYS Mechanical, a universal industrial software package, and ANSYS CFX, a specialized module for modeling flows of liquids and gases with account taken of turbulence.

Results. The position of measurement points that ensure the least distortion of the flow and tilt angles of hydraulic turntables were determined during the hydraulic simulation. The flow loads were taken into account when the stress-strain state of the universal frame structure was calculated; optimal design solutions were selected to ensure the strength and reliability of metal elements. Stress concentration zones were identified for monitoring purposes during installation.

Conclusions. Given the mathematical modeling data and experimental field studies, a universal frame structure for energy tests was substantiated. The new design ensures a measurement error of $\pm 0.67\%$, which corresponds to the leading world standards.

KEYWORDS: energy testing, stress-strain state of structures, hydraulic mode, ANSYS, ANSYS CFX, computational studies, finite element method

FOR CITATION: Antonov A.S., Karablin N.P., Minakov V.A., Karpinsky A.V. Development and justification of universal designs for energy tests in flow paths of hydroelectric power plants. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2022; 17(7):933-943. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.7.933-943 (rus.).

Corresponding author: Anton S. Antonov, Antonov.An.S@yandex.ru.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в Российской Федерации работают свыше 200 гидроэлектростанций, многие из которых эксплуатируются более 40 лет, за этот период ряд единиц оборудования морально и технически устарел, что требует модернизации или технического перевооружения на более современное. Развитие технологий позволяет при замене оборудования повысить мощность гидроагрегатов, что в свою очередь ведет к изменению нагрузок, расходов и гидравлических режимов работы.

Изменение проектных значений нагрузок требует проведения исследований по проверке значений КПД, уточнения мощности гидротурбины, получения реальных энергетических характеристик, но в первую очередь это определение эффекта от повышения КПД и фактического прироста мощности после замены или модернизации оборудования.

Наиболее точным является определение действительных энергетических характеристик абсолютным методом с непосредственным измерением расхода воды через створ, перпендикулярный оси водовода, ведущего к гидроагрегату. Однако данный метод технически сложен и требует научного и технически обоснованного подхода к подбору металлической рамной конструкции, на которой впоследствии устанавливаются гидрометрические вертушки и створ, в котором она расположена. Исходя из опыта исследований и мировой практики данные испытания обладают высокой точностью и репрезентативностью, позволяющей определить необходимые величины и настроить оптимальную работу гидроагрегата. Отдельным вопросом при проведении энергетических испытаний является проектирование конструкции, обеспечивающей как прочность, так и минимальные воздействия на поток.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для разработки универсальной рамной конструкции для установки гидрометрических вертушек изучен российский и мировой опыт проведения энергетических испытаний абсолютным методом, рассмотрены варианты применяемых конструкций, их особенности, достоинства и недостатки, а также проанализированы работы специализированных организаций [1, 2]. На основании анализа выполненных исследований и конструктивных особенностей металлических конструкций сделан вывод о необходимости выноса измерительного створа за пределы зоны с существенным изменением характеристик измеряемого потока. При этом положение данного створа для каждого конкретного гидротехнического сооружения невозможно определить без данных натурных исследований или специализированных расчетов.

Для получения обоснованного расположения измерительного створа рассмотрены различные программные комплексы, позволяющие моделировать течения жидкостей и газов с учетом турбулентности. Наиболее перспективным комплексом математического моделирования для расчета потока жидкости в гидротехнических сооружениях является ANSYS CFX [3–13]. Решения, полученные в нем, наиболее близко соотносятся с данными натурных исследований, кроме того, он позволяет передавать данные для совместных междисциплинарных расчетов гидротехнических сооружений. Другой модуль ANSYS Mechanical позволяет выполнять прочностные расчеты металлоконструкций с учетом различных нагрузок при учете геометрической и физической нелинейности [14–20].

Применение расчетных комплексов для решения междисциплинарных задач является наиболее перспективным, так как позволяет выбрать оптимальный

створ расположения универсальной рамной конструкции, необходимое количество гидрометрических вертушек и их пространственную ориентацию в потоке для получения наиболее репрезентативного результата.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для выбора измерительного створа необходимо учитывать особенности конструкции, где проводятся исследования. В связи с тем что каждый гидротехнический объект уникален, то наиболее сложными являются сооружения, в которых при классическом расположении створа в пазах затворов не удастся добиться стабильности течения потока, или наблюдается недостаточная точность измерений. На рис. 1 приведена условная схема водоприемника, в которой присутствуют основные и промежуточные бычки, вертикальная забральная стенка, пазы сороудерживающей решетки (СУР), пазы рабочих и ремонтных затворов. Данные ограничения имеют характерное влияние на измерения как совокупно, так и каждый в отдельности.

Обтекание вертикальной забральной стенки и бычков формирует угловые натекания потока, учет которых требует установки измерительных вертушек

под различными углами. Наличие нескольких секций водоприемника увеличивает время проведения испытаний из-за необходимости измерения расхода последовательно в каждой секции. При этом не обеспечивается идентичность гидрологических условий за весь период испытаний. При установке створа в грейферных пазах, расположенных перед СУР, велика вероятность повреждения топляками гидрометрических вертушек. Проведение измерений в створе ремонтных затворов невозможно из-за малого расстояния до сороудерживающей решетки. В качестве примера отрицательного опыта измерения скоростей вблизи СУР можно привести проведенные в 2013 г. испытания на Новосибирской ГЭС [1], когда несущие ригели СУР вызвали местные уменьшения скорости потока. В связи с этим структура потока не отвечала требованиям определения расхода с приемлемой точностью и не позволила проверить гарантии завода изготовителя (рис. 2, а).

Определение реальных энергетических характеристик при таких исходных условиях возможно только при расположении измерительного створа на достаточном удалении от существующих пазов гидромеханического оборудования.

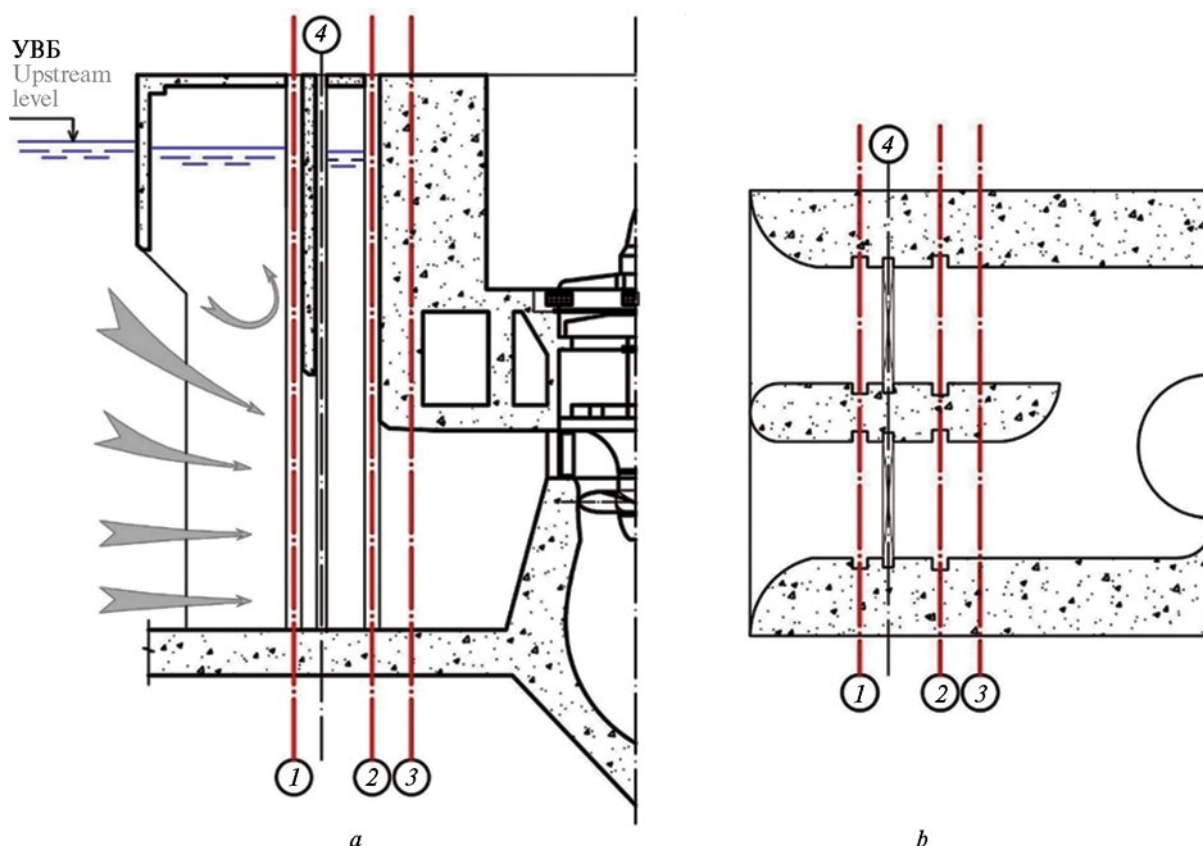


Рис. 1. Условная схема водоприемника: а — продольный разрез, б — вид в плане (1 — грейферный паз; 2 — паз аварийно-ремонтного затвора; 3 — предлагаемый измерительный створ; 4 — створ сороудерживающей решетки)

Fig. 1. A provisional water intake unit: a is a longitudinal section; b is a plan view (1 is a clamshell-type groove; 2 is a groove of the emergency repair gate; 3 is the proposed measuring gate; 4 is the gate of the debris screen)

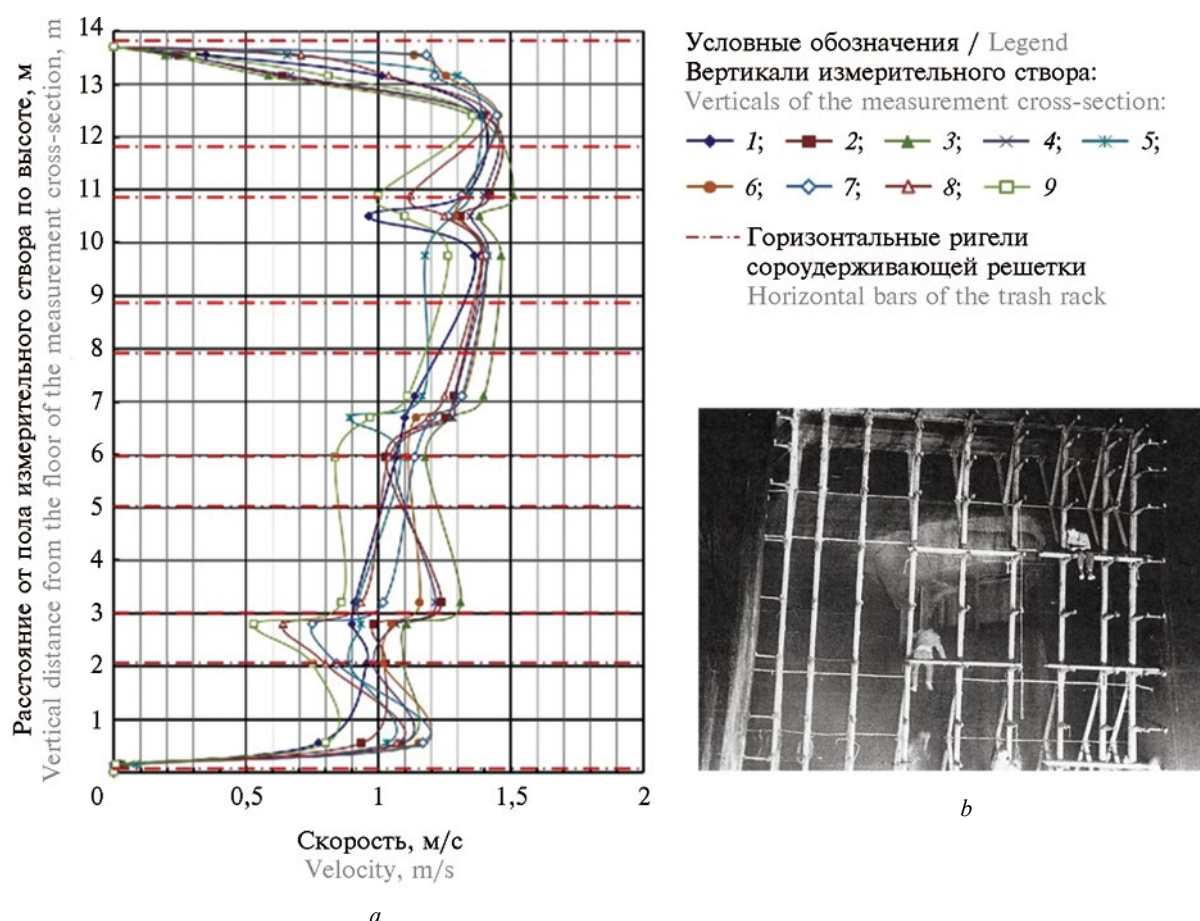


Рис. 2. Распределение скоростей по высоте измерительного сечения при измерении за СУР (а); монтаж классической рамы в водоводе (b)

Fig. 2. The distribution of velocities along the height of the measuring cross-section when measurement is taken behind the trash rack (a); installation of a classic frame in a water pipe (b)

Классическим решением является монтаж крупногабаритной стационарной рамной конструкции, перекрывающей все измерительное сечение (для водоприемников, разделенных промежуточными бычками, количество таких рам будет соответствовать количеству водопроводящих секций), что ведет к увеличению трудоемкости, стоимости и сроков проведения работ. Большое количество точек измерения для учета ожидаемой неравномерности может повлечь за собой сильное стеснение потока. Также для установки крупногабаритной рамы необходимо осушение проточной части и дополнительные работы по выводу кабельной проводки к регистрирующей аппаратуре. Пример массивной (классической) рамной конструкции представлен на рис. 2, b. Наиболее оптимальным решением является размещение измерительного створа на необходимом удалении при помощи поворотной конструкции, при этом основа конструкции размещается в существующих пазах.

За основу идеи универсальной рамной конструкции приняты результаты работ, выполняемых на Сходненской ГЭС в 1938 г. и на ГЭС «Wettingen»

(Швейцария) в 1933 г., в которых проводились исследования при изменении положения вертушек вокруг одной из осей рамной конструкции. Такой способ позволяет завести винты гидрометрических вертушек под потолок с нужными углами наклона. Данный способ применим в частном случае и позволяет обеспечить замкнутый измерительный контур, но не исключает остальные недостатки измерения расхода в водоприемнике. Разработанная конструкция с поворотным откидным рядом является универсальной при наличии пазов перед водоприемной частью.

В предлагаемой схеме измерений рама при помощи штатного кранового оборудования опускается в пазы, поворотный вертушечный ряд при этом установлен в вертикальном положении, при прохождении забальной балки ряд переводится в рабочее горизонтальное положение для создания створа на расчетном удалении. Основными достоинствами предлагаемой схемы являются:

- выравнивание выходящего потока в измерительном створе;

- возможность учета угловых натеканий потока;
- отсутствие необходимости осушения водовода;
- экономичная конструкция по сравнению с классическими вариантами;
- снижение трудоемкости и времени проведения испытаний.

Общий вид универсальной рамной конструкции для проведения энергетических испытаний гидроагрегатов представлен на рис. 3. Она предусматривает: 1 — тележки, размещаемые пределах пазов; 2 — катковые опоры, уменьшающие трение, позволяющие перемещать раму в пазах затворов, при этом перемещение по высоте измерительного створа производится при существующих параметрах открытия регулирующих органов, что позволяет повысить точность измерения и сократить продолжительность испытаний; 3 — боковые упоры, необходимые для предотвращения перекоса; 4 — продольные несущие балки, на одну из которых (4.1) опирается поворотный ряд, находясь в рабочем положении. Поворотный ряд состоит из: 5 — поворотной несущей штанги, вращающейся на двух подшипниках качения — 6; 7 — противовеса; 8 — штанги для крепления гидрометрических вертушек, образующих два ряда, один из которых отклонен от вертикали на угол, позволяющий учесть сохраняющиеся угловые натекания в верхней части измерительного сечения.

Расположение центров масс элементов позволяет поворотному ряду занимать горизонтальное положение под действием силы тяжести, а в верти-

кальное положение ряд возвращается ручными лебедками. Для контроля положения во время поворота рама оборудуется концевыми выключателями в нескольких точках.

Для проведения энергетических испытаний необходимо определить створ с наименьшими искажениями потока, для чего выполнялось математическое моделирование водоприемника, напорных водоводов и спиральной камеры. Исходя из результатов многовариантного моделирования определялось необходимое удаление створа, а также гидравлические нагрузки на элементы рамной конструкции при дальнейшем прочностном расчете.

В результате моделирования получены направления и скорости потока в водоприемнике, а также распределения величин для итогового варианта расчетов, которые представлены на рис. 4, а. Распределение скоростей неравномерно, вследствие несимметричности водоприемной части расход в правой секции больше, чем в левой, при этом максимальные скорости потока в створе расположения рамной конструкции оставляют порядка 2,5–2,8 м/с. При установке рамной конструкции наблюдаются локальные зоны увеличения скоростей около поперечных балок, в зоне влияния которых скорости увеличиваются до 3,61 м/с. Одной из решаемых задач является определение расстояния для расположения измерительного створа и подбор угла наклона вертушек на величину, достаточную для минимизации и учета натеканий потока. Схема расположения откидного ряда приведена на рис. 4, б.

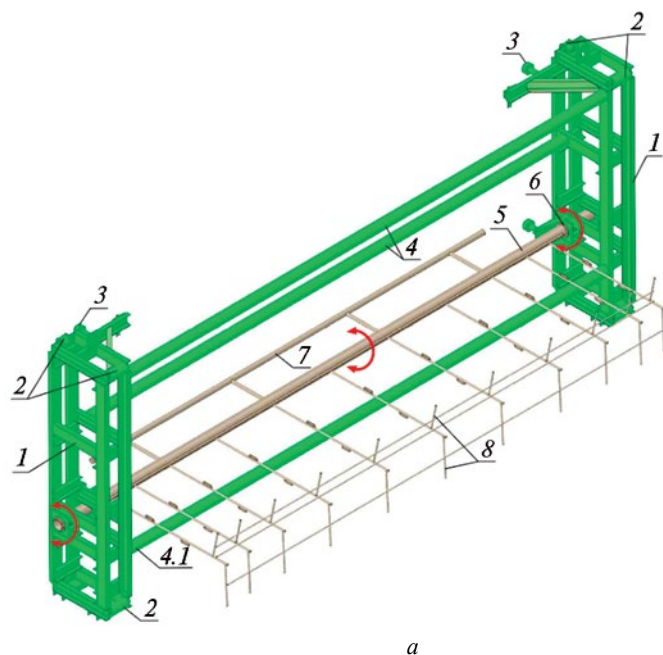


Рис. 3. Универсальная рамная конструкция для проведения энергетических испытаний: а — математическая модель; б — изготовленная конструкция для проведения испытаний

Fig. 3. A universal energy testing frame structure: а is a mathematical model; б is a structure manufactured for testing purposes

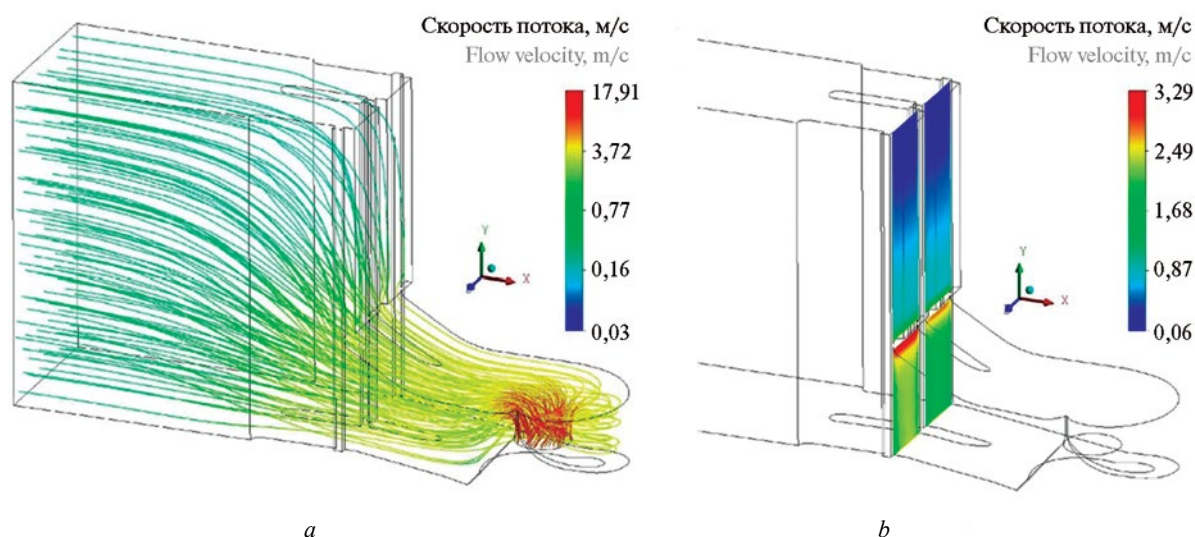


Рис. 4. Направления и скорости потока: *a* — направления скоростей в водоприемнике; *b* — распределение скоростей в створе расположения рамы

Fig. 4. Flow directions and velocities: *a* is directions of velocities in the water intake; *b* is the distribution of velocities in the water intake frame

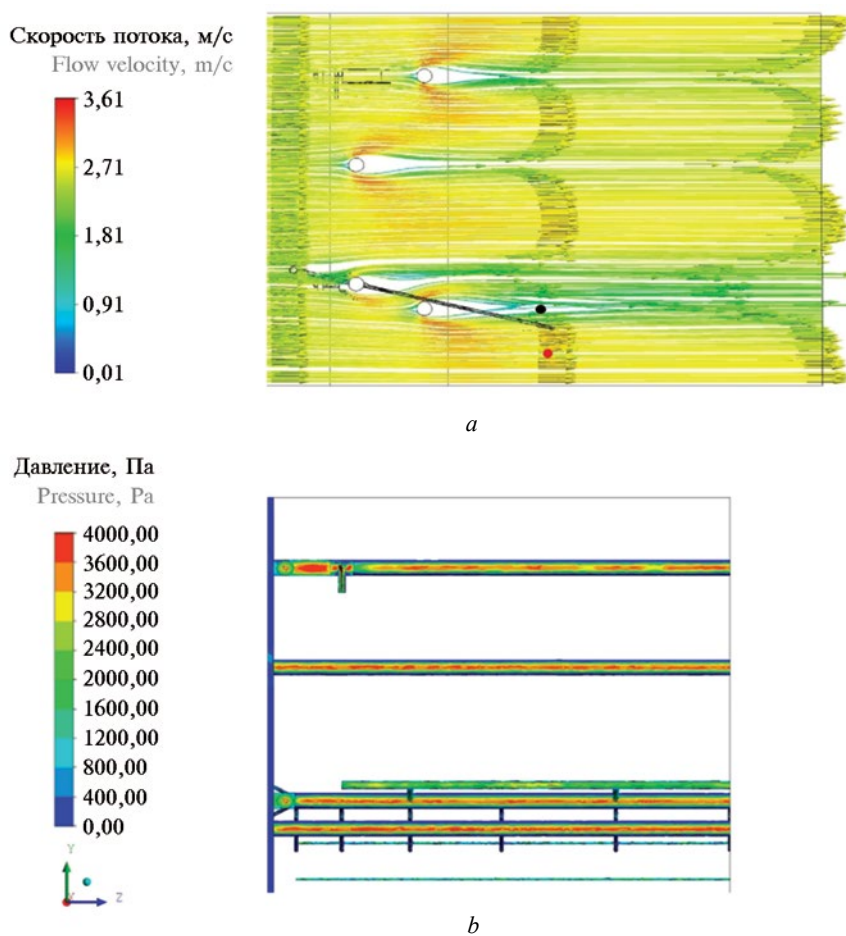


Рис. 5. Скорости потока при расположении рамы в створе (*a*); расчетное гидродинамическое давление в створе (*b*)

Fig. 5. The flow velocity when the frame is in the water intake (*a*); the calculated hydrodynamic pressure in the water intake (*b*)

На основе полученного распределения скоростей в водоприемной части определены расчетные гидродинамические давления (рис. 5, *b*), действующие на раму. При прохождении потока величины нагрузок на отдельные элементы балок рамной конструкции неравномерны, максимальное давление на несущий каркас составляет 4 кПа.

Данные величины использованы в расчетах напряженно-деформированного состояния конструкции, в нелинейной постановке. Целью расчетов являлась оптимизация элементов и обеспечение необходимой прочности. Для чего параметризовались основные элементы и проведены циклические расчеты по подбору оптимальных величин элементов. Это позволило оптимизировать стоимость конструкции, обеспечив необходимую прочность, при этом, исходя из прочностных расчетов, наиболее опасными элементами являются сварные швы, к ним необходимо повышенное внимание при монтаже и производстве работ. Результаты расчетов оптимизированной металлической рамной конструкции представлены на рис. 6. Максимальные деформации наблюдаются вдоль потока в центре пролета балочных элементов и составляют 11,34 мм, при этом напряжения в металле в этой зоне не превосходят

нормативные значения. Максимальные эквивалентные напряжения в металле наблюдаются в зоне контактов основных элементов, достигают 121,11 МПа и не превосходят нормативные значения для принятой марки стали, однако концентрация напряжений по сварным швам накладывает дополнительные требования к проверке качества выполняемых сварочных работ.

В результате научных изысканий изготовлена универсальная рамная конструкция для проведения энергетических испытаний (рис. 3, *b*), использованная на реальном объекте для определения энергетических характеристик гидротурбины на объекте гидрогенерации. На рис. 7 представлены фактические скорости потока, измеренные при помощи универсальной рамной конструкции. Характерным является то, что максимальные замеренные величины отличаются от расчетных не более чем на 7 %, при этом поле величин имеет ярко выраженную неравномерность. Разница полей скорости также показывает неравномерность распределения скоростного потока между секциями водоприемника. Исследования показали, что предварительные расчеты позволили выбрать оптимальный створ с минимальными отклонениями и искажениями потока.

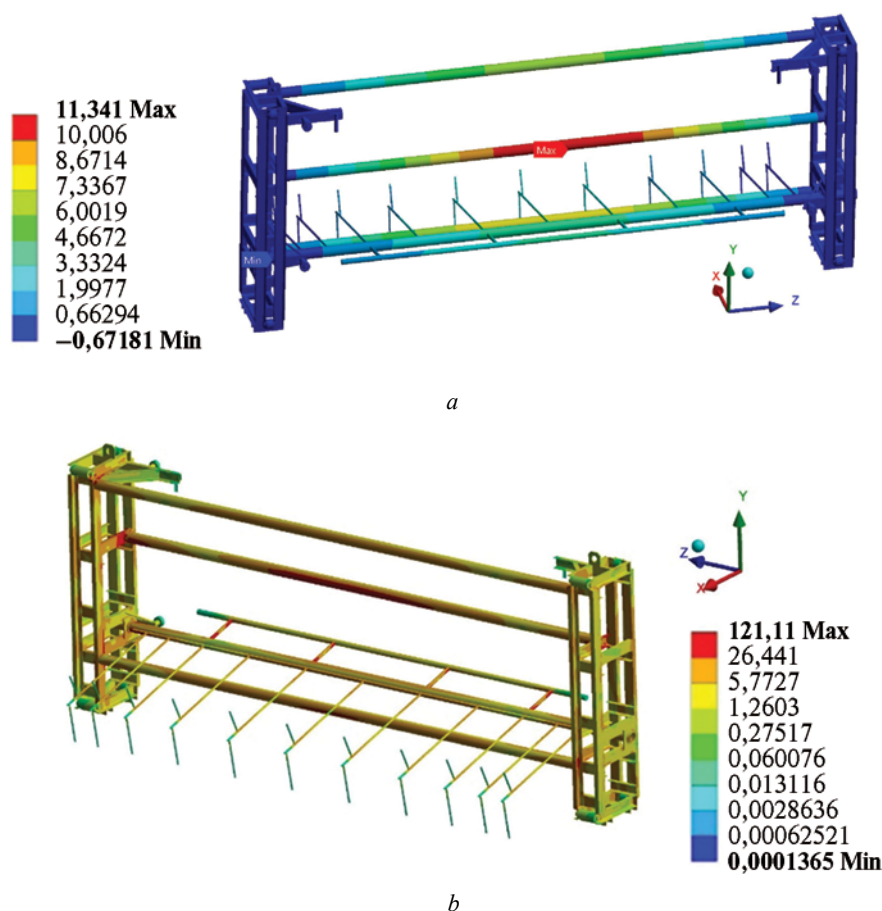


Рис. 6. Деформации универсальной рамной конструкции вдоль потока, мм (*a*); интенсивность напряжений по Мизесу, МПа (*b*)

Fig. 6. Deformations of the metal frame structure along the flow, mm (*a*); the stress intensity according to Mises, MPa (*b*)

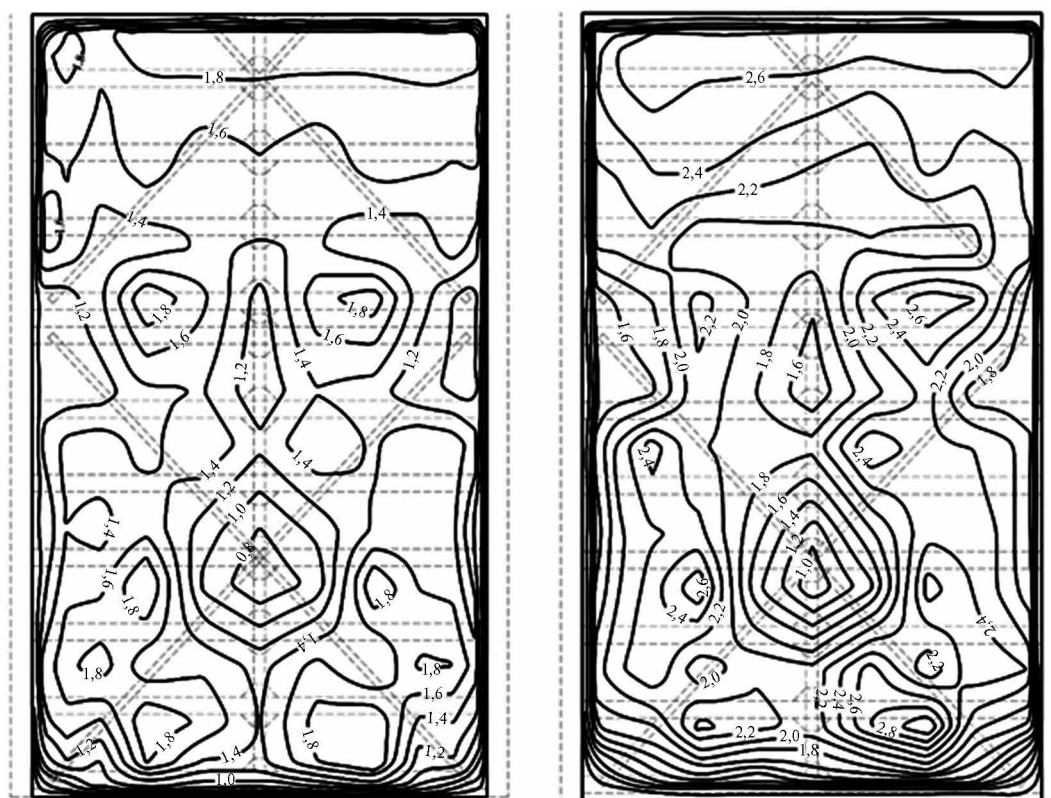


Рис. 7. Распределение полей скоростей в рассматриваемом сечении, вид со стороны верхнего бьефа, м/с

Fig. 7. Distribution of velocity fields in the section under consideration, if viewed from the upstream side, m/s

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Предложена и обоснована универсальная рамная конструкция для проведения энергетических исследований.

Применение современных вычислительных комплексов математического моделирования позволяет осуществить выбор оптимального расположения створа на стадии постановки задачи.

Комплексные расчеты напряженно-деформируемого состояния позволили разработать оптимальную конструкцию с необходимыми запасами по прочности, наиболее ответственными элементами являются сварные швы.

Разница максимальных замеренных и расчетных величин скоростей потока не превышает 7 %, что

говорит о допустимости данного подхода при оценке как створа расположения исследований, так и нагрузок, действующих на конструкцию.

Максимальные деформации вдоль потока не превышают 12 мм, а напряжения в металле 121 МПа, что ниже нормативных значений.

Погрешность измерений КПД составила $\pm 0,67\%$, что соответствует ведущим мировым стандартам.

В ходе исследований выявлено, что оптимальные режимы работы гидроагрегата смещены в сторону меньшей мощности относительно заводских значений, но при этом номинальная мощность, полученная в результате испытаний, превышает значения, установленные заводом-изготовителем.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Владимирский В.М., Дмитриев С.Г., Красильников А.М., Минаков В.А., Козлов Д.Д., Карпинский А.В. и др. Основные результаты натурных энергетических испытаний гидроагрегатов, выполненных АО «НИИЭС» с 2005 по 2015 гг. // Безопасность энергетических сооружений. 2016. № 2 (22).
2. Дмитриев С.Г., Минаков В.А., Карпинский А.В., Назмеев А.Р., Красильников А.М. Анализ

опыта проведения натурных энергетических испытаний гидроагрегатов с измерением расхода воды различными способами. Гидроэлектростанции русловой компоновки // Гидротехническое строительство. 2021. № 2. С. 17–32.

3. Da Zheng Wang, Dan Wang, Lei Mei, Wei Chao Shi. The hydrodynamic analysis of propeller based on ANSYS-CFX // Advanced Materials Research. 2013.

Vol. 694–697. Pp. 673–677. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.694-697.673

4. *Ahmed S., Aziz Y., Aziz Y.* Numerical modeling of flow in side channel spillway using ANSYS-CFX // Zanco Journal of Pure and Applied Sciences. 2018. Vol. 30. Issue s1. Pp. 83–93. DOI: 10.21271/ZJPAS.30.s1.10

5. *Mohammed O., Aziz Y.* CFD modeling of simultaneous flow over broad crested weir and through pipe culvert using different turbulence models // Zanco Journal of Pure and Applied Sciences. 2018. Vol. 30. Issue 5. Pp. 131–139. DOI: 10.21271/ZJPAS.30.5.11

6. *Majeed H.Q., Ghazal A.M.* CFD Simulation of velocity distribution in a river with a bend cross section and a cubic bed roughness shape // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 928. P. 022038. DOI: 10.1088/1757-899X/928/2/022038

7. *Kadia S., Kumar B., Pummer E., Ruther N., Ahmad Z.* Experimental and CFD simulation studies on the flow approaching a type-a piano key weir // EGU General Assembly. 2021. Pp. 19–30. DOI: 10.5194/egusphere-egu21-10030

8. *Zeng J., Rakib Z., Ansar M., Dessalegne T., Hajimirzaie S.* Applications of CFD for flow rating at complex water control structures // World Environmental and Water Resources Congress 2018. 2018. Pp. 210–221. DOI: 10.1061/9780784481424.022

9. *Rakib Z., Zeng J.* Application of CFD to improve hydrodynamic modeling to estimate local head loss induced by canal confluence // World Environmental and Water Resources Congress 2019. 2019. Pp. 178–291. DOI: 10.1061/9780784482353.017

10. *Zeng J., Ansar M., Raymond J., Rakib Z., Zhang L.* Automated water control structures flow rating using CFD generated data // World Environmental and Water Resources Congress 2018. 2018. Pp. 188–196. DOI: 10.1061/9780784481424.020

11. *Saleh S.M., Husain S.M.* Numerical study to evaluate the performance of nonuniform stepped spillway using ANSYS-CFX // Polytechnic Journal. 2020. Vol. 10. Issue 2. Pp. 1–9. DOI: 10.25156/ptj.v10n2y2020.pp1-9

12. *Afshari F., Dehghanpour H., Khanlari A.* A basic comparison between numerical methods provided by ANSYS CFX, ANSYS Fluent AND ABAQUS Standard // Uluslararası Mesleki Ve Teknik Bilimler Kongresi (UMTEB-4). 2018. Pp. 1802–1811.

13. *Фабричная К.А., Фаррахова Ч.Ф.* Исследование напряженно-деформированного состояния узла сталежелезобетонного каркаса здания в ПК ANSYS // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2019. № 4 (11). С. 25–35.

14. *Фабричная К.А., Саубанова А.М.* Исследование напряженно-деформированного состояния элементов опорного узла консоли в ПК ANSYS // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2019. № 3 (10). С. 24–33.

15. *Трастьян Н.А., Линьков Н.В.* Разработка рамных узлов стальных конструкций с учетом пластических деформаций // Инженерный вестник Дона. 2019. № 1 (52). С. 188.

16. *Галиева А.Б., Галиев Г.Н.* Моделирование конструкций многоярусной однопролетной рамы в ПК ANSYS с учетом регулирования усилий в узлах сопряжения ригелей с колоннами // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2015. № 2. С. 90–92.

17. *Грибанов Я.И., Калугин А.В., Балакирев А.А.* Расчетный комплекс для прочностного анализа несущих конструкций покрытия спортивного сооружения // Вестник МГСУ. 2012. № 8. С. 85–90.

18. *Голоднов А.И., Иванов А.П., Псюк В.В.* Моделирование напряженно-деформированного состояния стальных конструкций по результатам выполненного обследования // Металлические конструкции. 2011. Т. 17. № 3. С. 167–175.

19. *Кравченко Г.М., Костенко Д.С.* Моделирование узлового соединения элементов облегченных стальных конструкций // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2019. № 4 (204). С. 51–56. DOI: 10.17213/0321-2653-2019-4-51-56

Поступила в редакцию 15 июня 2022 г.

Принята в доработанном виде 20 июня 2022 г.

Одобрена для публикации 29 июня 2022 г.

ОБ АВТОРАХ: **Антон Сергеевич Антонов** — кандидат технических наук, главный инженер по оборудованию и гидротехническим сооружениям; **Филиал АО «Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт «Гидропроект» им. С.Я. Жука** — «Научно-исследовательский институт энергетических сооружений» (Филиал АО «Институт Гидропроект» — «НИИЭС»); 125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 2; старший преподаватель кафедры гидравлики и гидротехнического строительства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 7374-6867, Scopus: 57197566337, ResearcherID: AAC-7597-2022, ORCID: AAC-7597-2022; Antonov.An.S@yandex.ru;

Никита Павлович Караблин — главный инженер по турбинному и гидромеханическому оборудованию; **Филиал АО «Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт «Гидропроект»**

им. С.Я. Жука» — «Научно-исследовательский институт энергетических сооружений» (Филиал АО «Институт Гидропроект» — «НИИЭС»); 125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 2; n.karablin@hydroproject.ru;

Владимир Александрович Минаков — начальник отдела испытаний энергетического оборудования; Филиал АО «Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт «Гидропроект» им. С.Я. Жука» — «Научно-исследовательский институт энергетических сооружений» (Филиал АО «Институт Гидропроект» — «НИИЭС»); 125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 2; v.minakov@hydroproject.ru;

Алексей Валерьевич Карпинский — ведущий инженер; Филиал АО «Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт «Гидропроект» им. С.Я. Жука» — «Научно-исследовательский институт энергетических сооружений» (Филиал АО «Институт Гидропроект» — «НИИЭС»); 125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 2; a.karpinskiy@hydroproject.ru.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Vladimirskiy V.M., Dmitriev S.G., Krasil'nikov A.M., Minakov V.A., Kozlov D.D., Karpinskiy A.V. et al. The main results of full-scale energy tests of hydraulic units performed by JSC "NIIES" from 2005 to 2015. *Safety of Power Structures*. 2016; 2(22). (rus.).
2. Dmitriev S.G., Minakov V.A., Karpinsky A.V., Nazmeev A.R., Krasilnikov A.M. Field power tests of turbine-generator units involving water discharge measurements via various methods. Run-of-river hydroelectric power plants. *Hydraulic Engineering Construction*. 2021; 2:17-32. (rus.).
3. Da Zheng Wang, Dan Wang, Lei Mei, Wei Chao Shi. The Hydrodynamic Analysis of Propeller Based on ANSYS-CFX. *Advanced Materials Research*. 2013; 694-697:673-677. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.694-697.673
4. Ahmed S., Aziz Y., Aziz Y. Numerical modeling of flow in side channel spillway using ANSYS-CFX. *Zanco Journal of Pure and Applied Sciences*. 2018; 30(s1):83-93. DOI: 10.21271/ZJPAS.30.s1.10
5. Mohammed O., Aziz Y. CFD modeling of simultaneous flow over broad crested weir and through pipe culvert using different turbulence models. *Zanco Journal of Pure and Applied Sciences*. 2018; 30(5):131-139. DOI: 10.21271/ZJPAS.30.5.11
6. Majeed H.Q., Ghazal A.M. Simulation of velocity distribution in a river with a bend cross section and a cubic bed roughness shape. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020; 928:022038. DOI: 10.1088/1757-899X/928/2/022038
7. Kadia S., Kumar B., Pummer E., Ruther N., Ahmad Z. Experimental and CFD simulation studies on the flow approaching a type-a piano key weir. *EGU General Assembly*. 2021; 19-30. DOI: 10.5194/egusphere-egu21-10030
8. Zeng J., Rakib Z., Ansar M., Dessalegne T., Hajimirzaie S. Applications of CFD for flow rating at complex water control structures. *World Environmental and Water Resources Congress 2018*. 2018; 210-221. DOI: 10.1061/9780784481424.022
9. Rakib Z., Zeng J. Application of CFD to improve hydrodynamic modeling to estimate local head loss induced by canal confluence. *World Environmental and Water Resources Congress 2019*. 2019; 178-291. DOI: 10.1061/9780784482353.017
10. Zeng J., Ansar M., Raymond J., Rakib Z., Zhang L. Automated water control structures flow rating using CFD generated data. *World Environmental and Water Resources Congress 2018*. 2018; 188-196. DOI: 10.1061/9780784481424.020
11. Saleh S.M., Husain S.M. Numerical study to evaluate the performance of nonuniform stepped spillway using ANSYS-CFX
12. . *Polytechnic Journal*. 2020; 10(2):1-9. DOI: 10.25156/ptj.v10n2y2020.pp1-9
13. Afshari F., Dehghanpour H., Khanlari A. A basic comparison between numerical methods provided by ANSYS CFX, ANSYS Fluent AND ABAQUS Standard. *Uluslararası Mesleki Ve Teknik Bilimler Kongresi (UMTEB-4)*. 2018; 1802-1811.
14. Fabrichnaya K.A., Farrahova C.F. Research stressed-deformed state of the node steel-concrete building frame in ANSYS PC. *Housing and Utilities Infrastructure*. 2019; 4(11):25-35. (rus.).
15. Fabrichnaya K.A., Saubanova A.M. Investigation of the stress-strain state of elements of the reference node of the console in the PC ANSYS. *Housing and Utilities Infrastructure*. 2019; 3(10):24-33. (rus.).
16. Trastyan N.A., Linkov N.V. Development of steel framework frames with regard to plastic deformations. *Engineering Journal of Don*. 2019; 1(52):188. (rus.).
17. Galieva A.B., Galiev G.N. Modeling of multistoried single-span frame structure with a force control in the beam-to-column nodes in ANSYS software. *Akademicheskij Vestnik UralNIIProekt RAASN*. 2015; 2:90-92. (rus.).
18. Gribanov Y.I., Kalugin A.V., Balakirev A.A. System for the strength analysis of the bearing structures of the sports facility covering. *Vestnik MGSU* [Monthly

Journal on Construction and Architecture]. 2012; 8:85-90. (rus.).

19. Golodnov O., Ivanov A., Psyuk V. Simulation of stress-strain state of steel structures due to the results of the survey. *Metall Constructions*. 2011; 17(3):167-175. (rus.).

20. Kravchenko G.M., Kostenko D.S. Behaviour of screw connections in cold-formed steel structures. *Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Technical Sciences*. 2019; 4(204):51-56. DOI: 10.17213/0321-2653-2019-4-51-56 (rus.).

Received June 15, 2022.

Adopted in revised form on June 20, 2022.

Approved for publication on June 29, 2022.

B I O N O T E S: **Anton S. Antonov** — Candidate of Technical Sciences, Chief Engineer for equipment and hydraulic structures; **Branch of JSC “Design, survey and research institute “Hydroproject” named after. S.Y. Zhuka” — “Research institute of energy structures” (Branch of JSC “Institute Hydroproject” — “NIIES”);** 2 Volokolamskoye shosse, Moscow, 125080, Russian Federation; Senior Lecturer of the Department of Hydraulics and Hydraulic Engineering; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);** 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 7374-6867, Scopus: 57197566337, ResearcherID: AAC-7597-2022, ORCID: AAC-7597-2022; Antonov.An.S@yandex.ru;

Nikita P. Karablin — Chief Engineer for turbine and hydro-mechanical equipment; **Branch of JSC “Design, survey and research institute “Hydroproject” named after. S.Y. Zhuka” — “Research institute of energy structures” (Branch of JSC “Institute Hydroproject” — NIIES”);** 2 Volokolamskoye shosse, Moscow, 125080, Russian Federation; n.karablin@hydroproject.ru;

Vladimir A. Minakov — Head of the Department of testing of power equipment; **Branch of JSC “Design, survey and research institute “Hydroproject” named after. S.Y. Zhuka” — “Research institute of energy structures” (Branch of JSC “Institute Hydroproject” — “NIIES”);** 2 Volokolamskoye shosse, Moscow, 125080, Russian Federation; v.minakov@hydroproject.ru;

Alexey V. Karpinsky — Lead Engineer; **Branch of JSC “Design, survey and research institute “Hydroproject” named after. S.Y. Zhuka” — “Research institute of energy structures” (Branch of JSC “Institute Hydroproject” — “NIIES”);** 2 Volokolamskoye shosse, Moscow, 125080, Russian Federation; a.karpinskiy@hydroproject.ru.

*Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.
The authors declare that there is no conflict of interest.*

Гидравлическая и тепловая устойчивость работы автономных систем поквартирного теплоснабжения

Алексей Леонидович Торопов

Инженерный центр «Апрель»; г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Начиная с 1998 г. в РФ применяется поквартирное теплоснабжение. В квартирах многоэтажных домов установлено более двух миллионов настенных газовых котлов, 99 % из которых — настенные двухконтурные конвекционные котлы с атмосферными горелками. Обеспечение гидравлической и тепловой устойчивости — требование существующих норм проектирования систем теплоснабжения. В автономных системах теплоснабжения тепловой генератор является частью единого циркуляционного контура, имеет собственное гидравлическое сопротивление. Движение теплоносителя и передача тепловой энергии по трубопроводам системы к приборам отопления осуществляется циркуляционным насосом. Устойчивость автономной системы теплоснабжения, в отличие от централизованной, зависит от нормативных параметров предоставления энергетических ресурсов (давление, теплотворная способность газа, напряжение электрической сети).

Материалы и методы. Исследовались параметры тепловой мощности газовой горелки и циркуляционного насоса при существующих нормах диапазонов изменения энергетических ресурсов и их влияние на гидравлическую и тепловую устойчивость систем.

Результаты. Получены количественные результаты исследуемых параметров. Определен коэффициент генерации тепловой мощности в зависимости от давления газа, диапазон изменения напорно-расходных характеристик циркуляционных насосов, график гидравлического сопротивления настенного котла, влияние установки термодиафрагм приборов отопления и применения антифризов.

Выводы. Автономная система теплоснабжения отличается от системы централизованного теплоснабжения тем, что неотъемлемой ее частью является тепловой генератор и циркуляционный насос. Параметры работы автономной системы теплоснабжения зависят от нормативных параметров предоставления энергетических ресурсов. Наличие гидравлической устойчивости неоднозначно определяет наличие тепловой устойчивости. В расчетах гидравлического сопротивления контура отопления необходимо учитывать гидравлическое сопротивление газового котла. Применение термоголовок на приборах отопления и антифризов в системе поквартирного теплоснабжения противоречит понятию гидравлической устойчивости отопительного контура. Проверка тепловой устойчивости системы поквартирного отопления должна выполняться с учетом алгоритмов работы теплогенератора.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: газовый настенный котел, гидравлическая устойчивость, тепловая устойчивость, автономное теплоснабжение, поквартирное теплоснабжение, конвекционный котел

Благодарности. Автор выражает благодарность рецензентам за замечания по стилю изложения и научно-технической сути, способствующие более глубокому раскрытию темы научной работы.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Торопов А. Л. Гидравлическая и тепловая устойчивость работы автономных систем поквартирного теплоснабжения // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 7. С. 944–953. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.7.944-953

Автор, ответственный за переписку: Алексей Леонидович Торопов, toropov@aprilgroup.ru.

Hydraulic and thermal stability of independent systems of apartment heating

Alexey L. Toropov

Engineering Center "April"; Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Individual apartment heating has been used in the Russian Federation since 1998. More than two million wall-mounted gas boilers were installed in the apartments of apartment buildings, 99 percent of which are wall-mounted double-circuit convection boilers with atmospheric burners. Their hydraulic and thermal stability is a requirement of the current standards for the design of heating systems. The heat generator of independent heating systems is part of a single circulation circuit; it has its own hydraulic resistance. The circulation of coolant and transfer of thermal energy through the pipelines to heating appliances is performed by the circulation pump. Stability of an independent heating system, in contrast to the centralized one, depends on the regulatory parameters of energy supply (pressure, calorific value of gas, voltage of the electric network).

Materials and methods. The authors studied the thermal capacity parameters of the gas burner and the circulation pump within the framework of current standards of variable supply of energy resources and their influence on the hydraulic and thermal stability of systems.

Results. Quantitative results of the studied parameters were obtained. The authors identified the coefficient of heat power generation depending on gas pressure, range of pressure change and flow characteristics of circulation pumps, wall boiler hydraulic resistance, influence of thermostatic valves of heating appliances and the use of antifreezes.

Conclusion. An independent heating system differs from a centralized one in that a heat generator and a circulation pump are its integral parts. The operating parameters of independent heating systems depend on standard parameters of energy resources supply. Hydraulic resistance does not determine thermal stability. When calculating the hydraulic resistance of the heating circuit, it is necessary to take into account the hydraulic resistance of the gas boiler. Thermal heads on heating appliances and antifreezes in the system of independent apartment heating contradict the concept of hydraulic stability of the heating circuit. Thermal stability of an apartment heating system should be checked taking into account the algorithms of the heat generator performance.

KEYWORDS: wall-mounted gas boiler, hydraulic stability, thermal stability, independent heating, independent apartment heating, convection boiler

Acknowledgements. The author thanks the reviewers for their remarks concerning the style of the manuscript, its research and technology aspects, that enabled the author to better explore the topic of the research paper.

FOR CITATION: Toropov A.L. Hydraulic and thermal stability of independent systems of apartment heating. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2022; 17(7):944-953. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.7.944-953 (rus.).

Corresponding author: Alexey L. Toropov, toropov@aprilgroup.ru.

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия наблюдается устойчивая тенденция к увеличению доли децентрализованных (автономных) систем теплоснабжения. Это вызвано рядом факторов, связанных с ростом индивидуального и коммерческого строительства в Российской Федерации, а также проблемами, обусловленными старением и низкой эффективностью централизованных систем теплоснабжения многоквартирных домов (МКД). Начиная с 1998 г. в стране в качестве эксперимента стало применяться поквартирное теплоснабжение (ПТ) — обеспечение теплом систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения индивидуально каждой квартиры в многоэтажном многоквартирном жилом здании¹. Автономные системы отопления позволяют быстро внедрять высокоэффективные тепловые генераторы и использовать современные устройства распределения тепловой энергии между отопительными приборами. Принципиальное техническое отличие автономных и централизованных систем отопления заключается в том, что в автономных системах тепловой генератор является частью единого циркуляционного контура, а движение теплоносителя и передача тепловой энергии по трубопроводам системы к приборам отопления осуществляется единым циркуляционным насосом. Ключевое социальное отличие перехода на автономное теплоснабжение состоит в том, что ответственность за техническое состояние, обслуживание технических устройств, нормы потребления тепловой энергии переходит от государства к собственнику помещения². По оценкам специалистов доля ПТ в ряде регионов при новом строительстве МКД достигает 80 %, а общая доля среди всех видов теплоснабжения зданий у автономных и индивидуальных тепловых систем — 18 % [1]. Эффективному использованию

теплогенераторов малой мощности для ПТ в виде настенных газовых котлов конденсационного типа с горелками полного предварительного смешивания и конвекционного типа с атмосферными горелками посвящены труды Ю.А. Табунщикова, П.А. Хаванова, А.С. Чуленева [2–4] и многих других авторов. В 2016 г. вышел документ СП 282.1325800.2016 «Поквартирные системы теплоснабжения на базе индивидуальных газовых теплогенераторов», правила проектирования и устройства в котором указаны как технические требования к теплогенераторам, применяемым в ПТ. В настоящее время во всех регионах РФ в квартирах многоэтажных домов с автономным теплоснабжением установлено более двух миллионов настенных газовых котлов, 99 % из которых — настенные двухконтурные конвекционные котлы с атмосферными горелками. Сложности применения данных теплогенераторов для систем теплоснабжения заключаются в том, что при работе в режиме горячего водоснабжения (ГВС) и в режиме «отопление» настенный газовый конвекционный котел использует единое горелочное устройство — многофакельную инжекционную горелку низкого давления. В режиме «ГВС» используется максимальная тепловая мощность котла — 16–24 кВт/ч. Эта мощность необходима для устойчивого водоснабжения горячей водой стандартной квартиры с двумя точками разбора. Сегодня при строительстве новых МКД наиболее популярны одно-, двухкомнатные квартиры малой площади. Квартиры с площадью до 50 м² имеют два-три отопительных прибора радиаторного типа. Максимальные тепловые потери с учетом инфильтрации и вентиляции таких квартир даже при минимальных температурах не превышают 2,5–3,0 кВт/ч [5]. Сложность использования настенного газового котла в качестве теплогенератора как для отопления маломерных квартир, так и для обеспечения ГВС заключается в том, что для обеспечения

¹ СП 282.1325800.2016. Поквартирные системы теплоснабжения на базе индивидуальных газовых теплогенераторов. Правила проектирования и устройства, п. 3.1.

² СП 282.1325800.2016. Поквартирные системы теплоснабжения на базе индивидуальных газовых теплогенераторов. Правила проектирования и устройства, п. 11.18.

диапазона изменения тепловой нагрузки, модуляция мощности настенного котла должна составлять 20 и более, что невозможно не только для конвекционных котлов, но и для конденсационных. Диапазон плавной модуляции конвекционных котлов определяется устойчивой работой атмосферной горелки и составляет от 40 до 100 % полной мощности [6, 7]. У конденсационных котлов диапазон плавной модуляции больше и составляет от 20 до 100 % [8]. Использование гравитационных клапанов Вентури позволяет увеличить диапазон модуляции до 7, некоторые производители конденсационных настенных котлов заявляют увеличение данного показателя до 10 [9], но даже данный уровень диапазона модуляции конденсационного котла не дает возможность обеспечить устойчивую работу настенных газовых тепловых генераторов во всем диапазоне изменения тепловых нагрузок. Поскольку в ПТ в России используются конвекционные газовые котлы с атмосферными горелками, то в режиме «отопление» работа котла представляет собой периодическое включение-выключение с постоянными паузами, определяемыми алгоритмом работы, причем избыток вырабатываемой тепловой мощности в 6–10 раз превышает необходимую тепловую мощность для компенсации теплопотерь маломерных квартир. Действующими нормативными документами устанавливается норма необходимости обеспечения гидравлической и тепловой устойчивости систем поквартирного отопления³.⁴ В указанных нормативных документах дано определение «гидравлическая и тепловая устойчивость систем отопления, теплоснабжения: способность системы поддерживать заданное расчетное относительное распределение расхода теплоносителя при изменении расхода и теплоотдачи по всем отдельным участкам, отопительным приборам и другим элементам системы»⁵. Понятия гидравлической и тепловой устойчивости жестко связаны между собой в данных документах. Из определения можно сделать вывод, что если в системе обеспечена гидравлическая устойчивость, то это обязательно соответствует тепловой устойчивости. Существует несколько других определений. В работах [10, 11] под гидравлической устойчивостью понимают способность системы сохранять постоянный расход теплоносителя на абонентских вводах при изменении условий работы других потребителей.

Под тепловой устойчивостью системы отопления [12] подразумевается свойство пропорционально изменять теплоотдачу всех нагревательных приборов при изменении температуры и расхода теплоносителя в течение отопительного сезона. Вопросы гидравлической устойчивости систем теплоснабжения ис-

следовались российскими авторами [13–16], а также иностранными специалистами [17–22]. Эти авторы рассматривали в основном гидравлическую устойчивость систем централизованного теплоснабжения или автономных котельных для ЖКХ. В системах теплоснабжения отключение части нагрузки (отключение потребителей от централизованной поставки тепловой энергии) приводит к снижению потерь давления в сети и к росту располагаемых давлений и расхода воды у оставшихся абонентов. Отклонение параметров вызывает разрегулировку абонентских систем. Гидравлическая устойчивость системы теплоснабжения повышается при увеличении гидравлического сопротивления абонентских установок (потерь давления в сети). С этой целью целесообразна установка на вводах дроссельных шайб и клапанов-регуляторов, которые будут создавать сопротивления потоку, тем самым создавая местные потери напора на абонентском вводе. То есть избыточный напор у потребителей будет поглощаться (компенсироваться) сопротивлениями дросселирующих шайб и регулирующих клапанов на абонентских вводах [23, 24].

Количественно гидравлическая устойчивость для систем теплоснабжения оценивается коэффициентом гидравлической устойчивости K_y :

$$K_y = G_\phi / G_p,$$

где G_ϕ — фактический расход сетевой воды на абонентском вводе; G_p — расчетный (максимально возможный) расход сетевой воды на абонентском вводе. Отклонение фактического расхода G_ϕ от расчетной величины G_p вызывает гидравлическую разрегулировку абонентских систем.

Коэффициент гидравлической устойчивости может изменяться от 0 до 1, так как $G_p \geq G_\phi$, при этом выполняется неперемное условие работы системы — напор, развиваемый насосами в теплоисточнике, должен преодолевать гидравлическое сопротивление сети и систем теплопотребления.

Системы поквартирного теплоснабжения обладают следующими особенностями.

1. Система отопления — замкнутая, двухтрубная с принудительной циркуляцией. Горизонтального типа. Теплогенератор — настенный газовый котел.
2. Движение теплоносителя обеспечивается циркуляционным насосом, являющимся составной частью настенного котла.
3. Гидравлическое сопротивление теплогенератора — составляющая часть гидравлического сопротивления всего контура теплоснабжения.

³ СП 282.1325800.2016. Поквартирные системы теплоснабжения на базе индивидуальных газовых теплогенераторов. Правила проектирования и устройства, п. 8.

⁴ СП 60.13330.2016. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003, п. 6.1.8.

⁵ СП 60.13330.2016. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003, п. 3.10.

4. Объем теплоносителя в системе отопления составляет 10–25 л.

5. Теплогенераторы снабжены встроенной системой автоматического управления и стандартной защитой от перегрева. Наиболее массово используются конвекционные двухконтурные котлы с закрытой камерой сгорания и атмосферной горелкой номинальной тепловой мощностью 24 кВт/ч с диапазоном плавной модуляции от 40 до 100 % максимальной тепловой мощности.

В автономных замкнутых системах отопления с внутренним циркуляционным насосом с электродвигателем асинхронного типа показателем гидравлической устойчивости служит постоянство отношения расхода на любом из участков системы при переменном режиме тепловой мощности теплогенератора к расчетному расходу при максимальной мощности. Для гидравлически устойчивых систем этот показатель не меняется во всем диапазоне изменения мощности котла, а для систем, не обладающих гидравлической устойчивостью, он может расти или падать. Величина изменения данного показателя внутри диапазона изменения тепловой мощности котла является показателем разбалансировки.

Нормативным документом⁶ рекомендуется устанавливать на каждый отопительный прибор термостатические термоголовки. Одновременно с этим в СП⁷ требуется, чтобы теплогенератор был оснащен устройством, обеспечивающим автоматическое поддержание температуры воздуха в жилых помещениях на постоянном, регулируемом пользователем уровне.

Установка термоголовок на каждый тепловой прибор подразумевает произвольную установку параметров регулирования проходного сечения каналов клапана, зависящего от многих индивидуальных условий, что приводит к разрегулированию гидравлической системы поквартирного отопления, поскольку изменение расходов теплоносителя по каждому отопительному прибору происходит не в зависимости от тепловой мощности котла, а в зависимости от произвольных действий пользователей. Разрегулирование системы приводит к сбою работы системы автоматического управления настенного котла и к условиям работы, которые не соответствуют режиму работы, описанному в нормативных документах заводов изготовителей этой техники.

В автономных системах ПТ нет такой однозначной жесткой связи между гидравлической и те-

пловой устойчивостью, как у централизованных систем теплоснабжения. Генерация тепловой энергии в системах ПТ зависит от давления газа на входе в газовый котел и его алгоритма работы.

Согласно СП⁸ давление газа перед теплогенераторами следует принимать в соответствии с паспортными данными теплогенераторов, но не более 0,0035 МПа. В паспортных данных всех применяемых в России настенных газовых котлов указано давление 0,0020 МПа. Но давление газа в РФ регламентируется Постановлениями Правительства, согласно которым норма давления газа составляет от 0,0012 до 0,0030 МПа. Тепловая мощность атмосферной горелки настенного газового котла определяется давлением газа перед горелкой. Соответственно, для получения давления перед горелкой из норм давления газа, указанных в Постановлении⁹, необходимо вычесть динамическое сопротивление модуляционного газового клапана газового котла. Нижний порог представленного диапазона превращается в 0,0008–0,001 МПа, что сильно отличается от параметров в СП⁸. Горелка настенного газового котла неспособна реализовать заявленную в документах производителей мощность.

Таким образом, при соблюдении гидравлической устойчивости возникает вероятность тепловой неустойчивости системы ПТ.

Существуют и другие особенности работы системы ПТ, влияющие на параметры устойчивости. Циркуляционные насосы газовых котлов имеют асинхронный мотор с постоянной скоростью вращения ротора. Данный тип электродвигателей чувствителен к величине питающего напряжения, величина которого может находиться в диапазоне 200–240 В переменного тока.

Цель работы:

- определить диапазоны изменения тепловой устойчивости настенных газовых конвекционных котлов в составе систем поквартирного теплоснабжения при условии параметров газа и напряжения электрической сети, соответствующих нормам и Постановлениям Правительства РФ;
- установить влияние установки термоголовок на гидравлическую устойчивость автономных систем ПТ;
- определить влияние алгоритмов работы настенных газовых котлов, установленных производителями, на гидравлическую и тепловую устойчи-

⁶ СП 282.1325800.2016. Поквартирные системы теплоснабжения на базе индивидуальных газовых теплогенераторов. Правила проектирования и устройства, п. 8.11.

⁷ СП 282.1325800.2016. Поквартирные системы теплоснабжения на базе индивидуальных газовых теплогенераторов. Правила проектирования и устройства, п.п. 10.5 и 10.6.

⁸ СП 282.1325800.2016. Поквартирные системы теплоснабжения на базе индивидуальных газовых теплогенераторов. Правила проектирования и устройства, п. 6.2.

⁹ О предоставлении коммунальных услуг собственникам и пользователям помещений в многоквартирных домах и жилых домов / Приложение № 1 к Правилам предоставления коммунальных услуг собственникам и пользователям помещений в многоквартирных домах и жилых домов : Постановление Правительства Российской Федерации от 06.05.2011 № 354 // Российская газета. 01.06.2011. № 116 (5492).

ности при их использовании в автономных системах поквартирного теплоснабжения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились на исследовательском стенде завода «Ардерия»¹⁰. Объекты исследования:

- газовый клапан с автоматической настройкой параметров работы, предназначенный для газовых котлов мощностью до 50 кВт/ч;
- циркуляционный трехскоростной насос с «мокрым ротором» с электродвигателем асинхронного типа с ротором постоянной скорости вращения.

Данное оборудование является составными частями выпускаемых в РФ серийно настенных газовых котлов «Ардерия Д24» (конвекционный, с закрытой камерой сгорания, атмосферной многофакельной инжекционной горелкой, основным одноканальным и вторичным пластинчатым теплообменником ГВС).

С целью установления характеристик работы газового клапана применены дифференциальные газовые манометры с точностью измерения $\pm 0,3\%$, разрешение — 10 Па. Для определения величины токов срабатывания электромагнитных приводов

клапана модуляции использовался мультиметр, точность измерения 0,8 %. Расход теплоносителя измерялся измерителем расхода ультразвуковым с накладными датчиками Ultrasonic FlowMeter, дублировался счетчиком воды ВСГ-25. Расход газа определялся счетчиком газа ITRON G6-RF1 iV psc.

Испытания проводились по три раза. Результаты представлены по средним значениям. На рис. 1 показан график изменения давления газа на выходе из клапана в зависимости от направления изменения тока управления катушки модуляции. В диапазоне изменения давления 200–1200 Па характер графика — линейный устойчивый, отличие параметров давления в зависимости от направления токов управления незначительное.

На рис. 2 представлен график изменения динамического сопротивления газового клапана в зависимости от динамического давления газа на входе.

На рис. 3 приведена зона изменения напорно-расходной характеристики, на рис. 4 — зона изменения коэффициента полезного действия циркуляционного насоса газового котла при третьей скорости

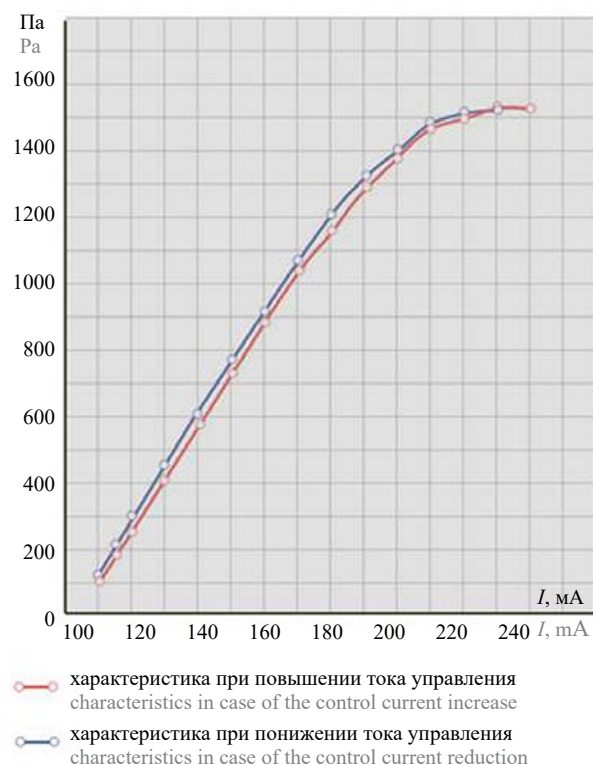


Рис. 1. Графики изменения давления газа на выходе из клапана в зависимости от направления изменения тока управления катушки модуляции

Fig. 1. Graphs describing changes in gas pressure at the outlet of the valve, depending on the nature of change in the control current of the modulation coil

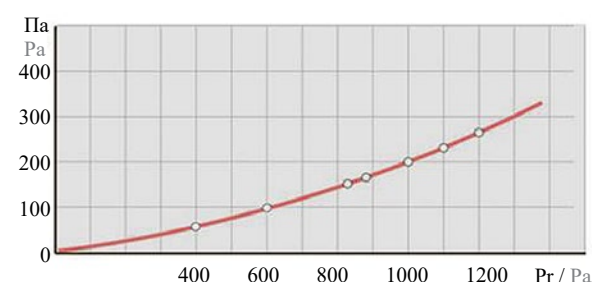


Рис. 2. График изменения динамического сопротивления газового клапана

Fig. 2. The graph describing a change in the dynamic resistance of the gas valve

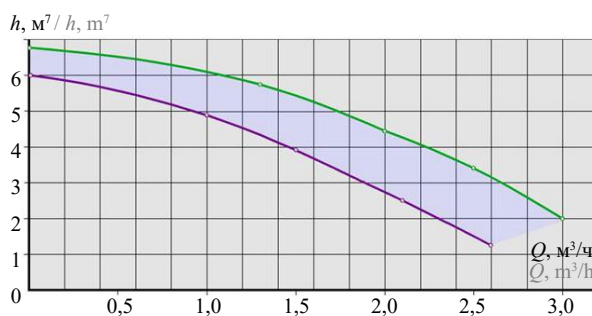


Рис. 3. Диапазон изменения напорно-расходных характеристик циркуляционного насоса с мокрым ротором, асинхронным электродвигателем, третьей скоростью вращения ротора

Fig. 3. The range of pressure-flow characteristics of the circulation pump with a wet rotor, asynchronous electric motor, the third rotation speed of the rotor

¹⁰ Патент на полезную модель RU № 205883. Исследовательский стенд испытания газовых котлов с имитатором тепловой нагрузки / А.Л. Торопов, М.Е. Пеняев, А.Е. Белов. Бюллетень ФИПС. 2021. № 23. С. 49.

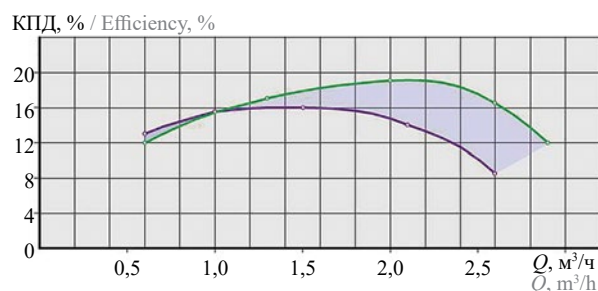


Рис. 4. Диапазон изменения КПД циркуляционного насоса с мокрым ротором, асинхронным электродвигателем, третьей скоростью вращения ротора

Fig. 4. The range of the efficiency change of the circulation pump with a wet rotor, asynchronous electric motor, the third rotation speed of the rotor

вращения ротора и диапазоне изменения напряжения сети 200–240 В.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования показали, что условия предоставления газа населению являются принципиально важным фактором, влияющим на параметры тепловой устойчивости автономной системы поквартирного теплоснабжения.

Нижний предел допустимого давления газа, равный 0,0012 МПа, не позволяет реализовать заявленную тепловую мощность теплового генератора, указанную в паспортных данных заводов изготовителей данного оборудования, поскольку практически все они соответствуют давлению в магистрали 0,0020 МПа. На рис. 5 представлен график зависимости максимальной тепловой мощности настенного газового котла от значения динамического давления газа на входе. При расчетах мощности газового котла следует учитывать давление не на входе в газовый котел, а после газового клапана перед газогорелочным устройством. В работе [7] исследовано влияние динамического сопротивления газовых клапанов. Диапазон изменения максимального значения динамического сопротивления применяемых в настоящее время газовых клапанов составляет от 220 до 430 Па.

Из графика на рис. 5 видно, что реализация максимальной тепловой мощности газового котла при значении давления газа по нижней границе нормы давления газа 0,0012 МПа возможна с коэффициентом понижения 0,87.

Таким образом, заявленная в паспортных данных завода-изготовителя максимальная мощность 24 кВт при давлении на входе 0,0012 МПа снижается до 20,9 кВт, что на 13 % меньше.

Гидравлическая устойчивость автономной системы не зависит от давления газа. Циркуляционный насос конвекционных газовых котлов работает с постоянной скоростью вращения ротора во всем диапазоне изменения тепловой нагрузки. В автономных системах ПТ может возникнуть ситуация,

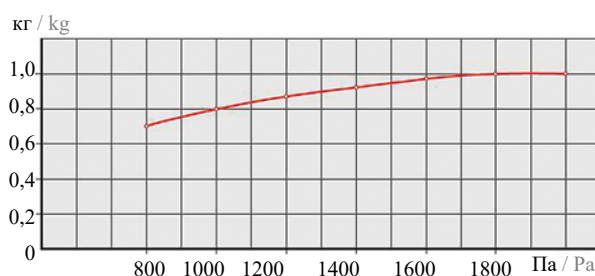


Рис. 5. График коэффициента снижения максимальной тепловой мощности настенного газового котла от динамического давления газа в магистрали

Fig. 5. The coefficient of reduction in the maximum thermal power of a wall-mounted gas boiler caused by the dynamic gas pressure in the main

когда гидравлическая устойчивость системы выполняется, а тепловая — нет по причине низкого нормативного давления газа в питающей магистрали.

Гидравлическая устойчивость автономной системы ПТ зависит от других параметров. Главное отличие автономной системы от централизованной заключается в том, что теплогенератор (газовый настенный котел), как часть циркуляционного контура, является частью гидравлического сопротивления контура. Исследования гидравлического сопротивления настенных газовых котлов проведены в работе [25]. На рис. 6 представлен график гидравлического сопротивления настенного газового котла в режиме «отопление».

В научном отчете [26] показано, что средний расход в индивидуальных системах отопления составляет 860 л/ч. Из графика на рис. 6 видно, что гидравлическое сопротивление настенного котла при этом значении составляет 2,5 м вод. ст. Циркуляционный насос настенного котла при этом расходе создает напор (в зависимости от напряжения в сети) от 5,15 до 6,15 м вод. ст. Гидравлическая устойчивость автономной системы обеспечена с большим запасом.

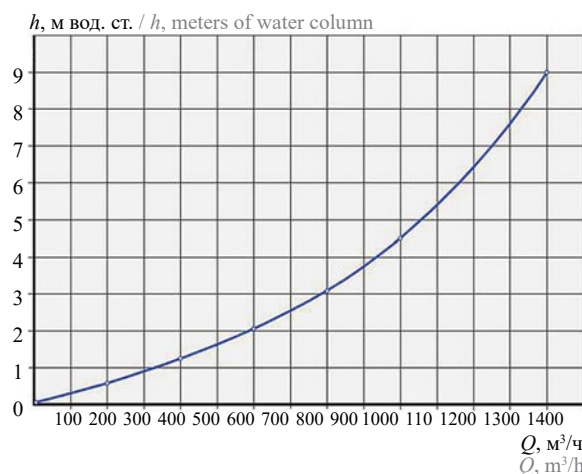


Рис. 6. Гидравлическое сопротивление настенного газового котла в режиме «отопление»

Fig. 6. Hydraulic resistance of a wall-mounted gas boiler in the “heating” mode

Но только в случае, если не используются термоголовки. В МКД последние годы доля однокомнатных квартир постоянно увеличивается и составляет более 50 %. В однокомнатных квартирах в системе отопления стоят два радиатора. Если применять на каждом радиаторе термоголовки, то их работа (перекрытие проходного сечения) происходит произвольным образом в зависимости от многих факторов. Перекрытие проходных каналов термоголовок в зависимости от установленной пользователем температуры меняет гидравлическую устойчивость системы отопления. При этом движение по отопительному контуру прекращается. Термоголовка никак не связана с работой теплогенератора. При прекращении движения теплоносителя котел закипает и отключается по перегреву. Алгоритм работы котла не связан с состоянием клапана термоголовки. При повторном включении после остывания термостата защиты от перегрева алгоритм работы котла запускает его в работу и сразу останавливает по перегреву, поскольку движение теплоносителя заблокировано клапаном термоголовки.

Применение автоматических систем управления работой котла, включая управление работой по выносному датчику температуры воздуха в помещении одновременно с установкой термоголовок на радиаторы отопления, недопустимо. Данные действия приводят к разрушению работы теплогенератора. Параметры гидравлической устойчивости в автономных системах зависят от установки термоголовок. В зависимости от индивидуальной и ситуационной настройки температуры на термоголовках в разных комнатах пользователем перераспределяются гидравлические потоки в контуре циркуляции. Поскольку система автоматического управления работой котла не связана с настройкой термоголовок, распределение тепла, произведенного теплогенератором, становится неуправляемым.

Параметры гидравлической устойчивости в автономных системах отопления зависят от колебаний напряжения сети питания газового котла. На рис. 3 и 4 показаны зоны изменения напорно-расходных характеристик и КПД, параметры могут изменяться значительно. В ряде случаев расчета гидравлической устойчивости систем отопления реальных объектов игнорирование учета колебаний гидравлических характеристик от напряжения электрической сети может привести к ошибкам расчета.

В связи с перечисленным выше, возникает необходимость в уточнении формулировки понятий гидравлической устойчивости автономных систем теплоснабжения, особенно применительно к поквартирному теплоснабжению. Также следует разделять понятия гидравлической и тепловой устойчивости. Соблюдение одного параметра в автономных системах теплоснабжения не гарантирует соблюдения второго.

Под гидравлической устойчивостью автономных систем теплоснабжения понимается способ-

ность системы поддерживать заданное расчетное относительное распределение расхода теплоносителя по всем отдельным участкам, отопительным приборам и другим элементам системы во всем диапазоне изменения тепловой мощности теплогенератора при нормативных условиях работы всех элементов и узлов, входящих в циркуляционный контур системы теплоснабжения.

В части тепловой устойчивости предлагается следующая формулировка: тепловая устойчивость автономной системы отопления — способность системы пропорционального изменения теплоотдачи всех отопительных приборов в зависимости от мощности теплогенератора во всем диапазоне изменения тепловой мощности при нормативных значениях параметров предоставления энергетических ресурсов, обеспечивающих работу системы в любое время года. Суть новой формулировки в том, что автономная система отопления должна рассматриваться как единое целое (тепловой генератор плюс отопительный контур, включая приборы отопления). Способность изменения мощности теплогенератора автономной системы должна выполняться во всем диапазоне от нуля до максимальных заданных значений при нормативном значении давления газа и его теплотворной способности, установленными нормативными актами РФ. При этом в контуре отопительных приборов во всем заданном изменении мощности теплогенератора должна пропорционально изменяться тепловая энергия, отданная приборами отопления помещений.

Применение специальных незамерзающих теплоносителей в автономных системах поквартирного теплоснабжения нарушает способность передачи тепловой энергии от газового котла к отопительным приборам. Все расчеты гидравлической, тепловой устойчивости, подбора мощности теплового агрегата в режиме отопления помещений проводятся для варианта использования воды как теплоносителя. Любые антифризы существенно отличаются от воды по своим физическим свойствам (вязкость, теплоемкость, плотность, теплопроводность, коэффициент объемного расширения и др.), следовательно, обеспечение удовлетворения целевого назначения системы, рассчитанной для теплоносителя воды, при другом теплоносителе невозможно [27–29]. Все применяемые в настоящее время для поквартирного теплоснабжения настенные котлы — двухконтурные. Для подготовки горячей воды антифризы не применяются. Использовать антифризы в контуре отопления без решения вопросов замерзания контура подготовки горячей воды в одном и том же котле не имеет смысла. Кроме того, значительную часть отопительного периода система поквартирного теплоснабжения с настенными газовыми конвекционными котлами работает в режиме избытка мощности, котел функционирует в режиме постоянного включения-выключения (тактования).

Периодическая остановка работы котла связана с перегревом теплоносителя в основном теплообменнике котла [30]. Поверхность каналов теплообменника нагревается до температуры, значительно превышающей допустимую для антифризов. Происходит термическое разложение гликоля и антикоррозионных присадок с образованием кислот и выпадением твердого осадка, забивающего каналы теплообменника.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Автономная система теплоснабжения отличается от системы централизованного теплоснабжения тем, что неотъемлемой ее частью является тепловой генератор и циркуляционный насос. Параметры работы автономной системы теплоснабжения зависят от нормативных параметров предоставления энергетических ресурсов (давление и теплотворная способность, напряжение электрической сети).

Гидравлическая и тепловая устойчивость работы автономной системы — разные характеристики работоспособности и должны рассматриваться отдельно. Наличие гидравлической устойчивости неоднозначно определяет наличие тепловой устойчивости. В расчетах гидравлического сопротивления

контура отопления необходимо учитывать гидравлическое сопротивление газового котла. Производительность циркуляционного насоса следует рассматривать при минимальных допустимых значениях напряжения электрической сети.

Применение термоголовок на приборах отопления системы многоквартирного теплоснабжения противоречит понятию гидравлической устойчивости отопительного контура и приводит к работе котла в нерасчетном режиме, приводящем к поломкам.

Проверка тепловой устойчивости системы многоквартирного отопления должна выполняться с учетом алгоритмов работы газового настенного котла.

Применение антифризов в системах многоквартирного теплоснабжения противоречит понятиям гидравлической и тепловой устойчивости, поскольку их использование меняет пропорции распределения потоков между участками системы и способность передачи тепловой энергии от генератора до приборов отопления по сравнению с расчетами, выполненными для воды (в качестве теплоносителя). В зависимости от состава антифриза способность системы доставить необходимое количество тепловой энергии до приборов отопления, по сравнению с расчетом для воды, может отличаться до пяти раз.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Усадский Д.Г. Совершенствование схем автономных источников теплоты в системах отопления и горячего водоснабжения : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Волгоград, 2012. 18 с.
2. Табунчиков Ю.А. Конденсационные котлы в автономном теплоснабжении // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2016. № 4. С. 26–31.
3. Хаванов П.А., Чуленев А.С. Климатические параметры и эффективность конденсационных котлов // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2016. № 3. С. 56–63.
4. Хаванов П.А., Чуленев А.С. Результаты испытаний конденсационного котла при различных режимах эксплуатации // Научное обозрение. 2015. № 10–1. С. 45–49.
5. Пилипенко Н.В. Тепловые потери и энергетическая эффективность зданий и сооружений : учебное пособие. СПб. : Университет ИТМО, 2016. 54 с.
6. Хаванов П.А. Атмосферные газовые горелки автономных теплогенераторов // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2003. № 1. С. 54.
7. Торопов А.Л. Исследование работы газовых клапанов конвекционных котлов малой мощности // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование

воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2020. № 3. С. 58–61.

8. Наумов Н.Р., Марьяндышев П.А., Попов А.Н., Любов В.К. Исследование работы газовых котлов малой мощности // Вестник Череповецкого государственного университета. 2017. № 4 (79). С. 27–33. DOI: 10.23859/1994-0637-2017-4-79-4

9. Mauro A., Maiorino A., Aprea C. The ultra-modulating gas boiler as an opportunity for domestic energy saving // International Journal of Ambient Energy. 2017. Vol. 38. Issue 5. Pp. 514–524. DOI: 10.1080/01430750.2016.1144524

10. Абдулаев Д.А., Маркелова Е.А., Сабирзянов А.Р., Миронов Н.Ю. Гидравлическая устойчивость тепловой сети // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2017. № 1 (52). С. 67–85.

11. Пашенцева Л.В. Влияние нарушения гидравлической устойчивости на надежность системы теплоснабжения // Строительство и техногенная безопасность. 2012. № 44. С. 85–88.

12. Аничхин А.Г. Проблемы тепловой устойчивости двухтрубных вертикальных систем отопления // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2013. № 11 (143). С. 66–75.

13. Ермаков Р.Л., Стенников Н.В. Выбор наладочного режима в открытых системах централизованного теплоснабжения // Теплоэнергетика. 2008. № 11. С. 58–63.

14. Хаванов П.А., Соловьева Е.Б. Проектирование на основе теплотехнических условий работы и организации тепловых и гидравлических режимов работы автономных котельных для ЖКХ // Научное обозрение. 2013. № 4. С. 128–130.

15. Канина Л.П., Чапкина Г.А. Опыт решения вопросов комплексной защиты оборудования систем теплоснабжения при переходных гидравлических режимах // Теплоэнергетика. 2008. № 4. С. 10–14.

16. Аничкин А.Г. Особенности гидравлических режимов систем отопления // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2011. № 6 (114). С. 37–39.

17. Karlsson K.B., Petrović S.N., Næraa R. Heat supply planning for the ecological housing community Munksøgård // Energy. 2016. Vol. 115. Pp. 1733–1747. DOI: 10.1016/j.energy.2016.08.064

18. Tian Y., Zhou Z., Wang Z. Connection Method between Urban Heat-supply Systems Based on Requirement of Limited-heating // Procedia Engineering. 2016. Vol. 146. P. 386–393. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.06.417

19. Baldvinsson I., Nakata T. A comparative exergy and exergoeconomic analysis of a residential heat supply system paradigm of Japan and local source based district heating system using SPECOC (specific exergy cost) method // Energy. 2014. Vol. 74. Pp. 537–554. DOI: 10.1016/j.energy.2014.07.019

20. Vesterlund M., Toffolo A., Dahl J. Simulation and analysis of a meshed district heating network // Energy Conversion and Management. 2016. Vol. 122. Pp. 63–73. DOI: 10.1016/j.enconman.2016.05.060

21. Lake A., Rezaie B., Beyerlein S. Review of district heating and cooling systems for a sustainable future // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017. Vol. 67. Pp. 417–425. DOI: 10.1016/j.rser.2016.09.061

22. Comodi G., Lorenzetti M., Salvi D., Arteconi A. Criticalities of district heating in Southern Europe:

Lesson learned from a CHP-DH in Central Italy // Applied Thermal Engineering. 2017. Vol. 112. Pp. 649–659. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2016.09.149

23. Черненко В.П., Попов Д.В. Управление гидравлическим режимом тепловых сетей // Труды Дальневосточного государственного технического университета. 2003. № 134. С. 126–128.

24. Нелидина А.Б., Бирюзова Е.А. Гидравлическая устойчивость тепловой сети, возможности ее повышения. СПб. : Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2018. URL: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/74931/1/ersps_2018_075.pdf

25. Торопов А.Л. Гидравлическое сопротивление настенных газовых котлов и эффективность нагрева помещений // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2021. № 5 (233). С. 32–36.

26. Bidstrup N., van Elburg M., Lane K. Promotion of energy efficiency in circulation pumps especially in domestic heating systems: Study under SAVE II programme. 2001.

27. Беликов С.Е. Незамерзающие теплоносители. М. : Аква-Терм, 2013. С. 55.

28. Хаванов П.А., Маркевич Ю.Г. Применение водногликолевых теплоносителей в автономных системах теплоснабжения // Интернет-вестник ВолгГАСУ. 2012. № 3 (23). С. 29.

29. Хаванов П.А., Барынин К.П. Особенности применения водногликолевых теплоносителей в автономных системах теплоснабжения // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2003. № 7.

30. Торопов А.Л. Вопросы эффективности работы конвекционных настенных газовых котлов при поквартирном теплоснабжении // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2021. № 6 (234). С. 42–45.

Поступила в редакцию 22 июня 2022 г.

Принята в доработанном виде 15 июля 2022 г.

Одобрена для публикации 20 июля 2022 г.

ОБ АВТОРЕ: Алексей Леонидович Торопов — кандидат технических наук, генеральный директор — главный конструктор; Инженерный центр «Апрель»; 105122, г. Москва, Щелковское шоссе, д. 13; РИНЦ ID: 1030472, ORCID: 0000-0002-7457-6948; toropov@aprilgroup.ru.

REFERENCES

1. Usadsky D.G. *Improving the schemes of autonomous heat sources in heating and hot water supply systems* : author. dis. for the competition scientist step. cand. tech. Sciences. Volgograd, 2012; 18. (rus.).

2. Tabunshchikov Y.A. Condensing boilers in autonomous heat supply. *AVOK*. 2016; 4:26-31. (rus.).

3. Havanov P.A., Chulenev A.S. Climatic Parameters and Efficiency of Condensation Boilers. *AVOK*. 2016; 3:56-63. (rus.).

4. Havanov P.A., Chulenev A.S. Results of condensing boiler tests under different operational regimes. *Scientific Review*. 2015; 10-1:45-49. (rus.).

5. Pilipenko N.V. *Heat losses and energy efficiency of buildings and structures : a tutorial*. St. Petersburg, ITMO University, 2016; 54. (rus.).
6. Havanov P.A. Atmospheric gas burners of autonomous heat generators. *AVOK*. 2003; 1:54. (rus.).
7. Toropov A.L. Analysis of Operation of Gas Valves of Low-power Convection Boilers. *AVOK*. 2020; 3:58–61. (rus.).
8. Naumov N.R., Maryandyshev P.A., Popov A.N., Lyubov V.K. Study on gas boilers of low capacities. *Cherepovets State University Bulletin*. 2017; 4(79):27–33. DOI: 10.23859/1994-0637-2017-4-79-4 (rus.).
9. Mauro A., Maiorino A., Aprea C. The ultra-modulating gas boiler as an opportunity for domestic energy saving. *International Journal of Ambient Energy*. 2017; 38(5):514–524. DOI: 10.1080/01430750.2016.1144524
10. Abdulaev D.A., Markelova E.A., Sabirzyanov A.R., Mironov N.Yu. Hydraulic stability of the thermal network. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2017; 1(52):67–85. (rus.).
11. Pashentseva L.V. Influence of violation of hydraulic stability on the reliability of heat supply. *Construction and Technogenic Safety*. 2012; 44:85–88. (rus.).
12. Anichkhin A.G. Problems of thermal stability of two-pipe vertical heating systems. *Plumbing, Heating, Air-Conditioning*. 2013; 11(143):66–75. (rus.).
13. Ermakov R.L., Stennikov N.V. Selecting adjustment operating conditions in open-circuit district heating systems. *Thermal Engineering*. 2008; 11:58–63. (rus.).
14. Havanov P.A., Solovieva E.B. Designing on the basis of heat engineering conditions of work and organization of thermal and hydraulic modes of operation of autonomous boiler houses for housing and communal services. *Scientific Review*. 2013; 4:128–130. (rus.).
15. Kanina L.P., Chapkina G.A. Experience with solving the matters of comprehensively protecting the equipment of heat supply systems during hydraulic transients. *Thermal Engineering*. 2008; 4:10–14. (rus.).
16. Anichkhin A.G. Features of hydraulic modes of heating systems. *Plumbing, Heating, Air-Conditioning*. 2011; 6(114):37–39. (rus.).
17. Karlsson K.B., Petrović S.N., Næraa R. Heat supply planning for the ecological housing community Munksøgård. *Energy*. 2016; 115:1733–1747. DOI: 10.1016/j.energy.2016.08.064
18. Tian Y., Zhou Z., Wang Z. Connection Method between Urban Heat-supply Systems Based on Requirement of Limited-heating. *Procedia Engineering*. 2016; 146:386–393. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.06.417
19. Baldvinsson I., Nakata T. A comparative exergy and exergoeconomic analysis of a residential heat supply system paradigm of Japan and local source based district heating system using SPECO (specific exergy cost) method. *Energy*. 2014; 74:537–554. DOI: 10.1016/j.energy.2014.07.019
20. Vesterlund M., Toffolo A., Dahl J. Simulation and analysis of a meshed district heating network. *Energy Conversion and Management*. 2016; 122:63–73. DOI: 10.1016/j.enconman.2016.05.060
21. Lake A., Rezaie B., Beyerlein S. Review of district heating and cooling systems for a sustainable future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017; 67:417–425. DOI: 10.1016/j.rser.2016.09.061
22. Comodi G., Lorenzetti M., Salvi D., Artoni A. Criticalities of district heating in Southern Europe: Lesson learned from a CHP-DH in Central Italy. *Applied Thermal Engineering*. 2017; 112:649–659. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2016.09.149
23. Chernenkov V.P., Popov D.V. Management of the hydraulic regime of thermal networks. *Proceedings of the Far Eastern State Technical University*. 2003; 134:126–128. (rus.).
24. Nelidina A.B., Biryuzova E.A. *Hydraulic stability of a warm network, possibility of its improvement*. St. Petersburg, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, 2018. URL: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/74931/1/ersps_2018_075.pdf (rus.).
25. Toropov A.L. Hydraulic resistance of wall-mounted gas boilers and heating efficiency. *Plumbing, Heating, Air-Conditioning*. 2021; 5(233):32–36. (rus.).
26. Bidstrup N., van Elburg M., Lane K. *Promotion of energy efficiency in circulation pumps especially in domestic heating systems: Study under SAVE II programme*. 2001.
27. Belikov S.E. *Non-freezing coolants*. Moscow, Aqua-Term, 2013; 56. (rus.).
28. Khavanov P.A., Markevich J.G. The use of water glycol heat carriers in autonomous heat supply systems. *Internet Bulletin of VOLGGASU*. 2012; 3(23):29. (rus.).
29. Havanov P.A., Barynin K.P. Features of the use of water glycol heat carriers in autonomous heat supply systems. *AVOK*. 2003; 7. (rus.).
30. Toropov A.L. Issues of operating efficiency of convection wall gas boilers with apartment heat supply. *Plumbing, Heating, Air-Conditioning*. 2021; 6(234):42–45. (rus.).

Received June 22, 2022.

Adopted in revised form on July 15, 2022.

Approved for publication on July 20, 2022.

B I O N O T E S: Alexey L. Toropov — Candidate of Technical Sciences, General Director — Chief Designer; Engineering Center “April”; 13 Schelkovskoe shosse, Moscow, 105122, Russian Federation; ID RISC: 1030472, ORCID: 0000-0002-7457-6948; toropov@aprilgroup.ru.

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ / OVERVIEW PAPER

УДК 332 : 004

DOI: 10.22227/1997-0935.2022.7.954-963

Инновационный подход к сделкам с недвижимостью с применением цифровых технологий

Наталья Александровна Волкова¹, Людмила Леонидовна Королева²

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

² Российский государственный университет туризма и сервиса (РГУТИС); Московская обл.,
п. Черкизово, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Сегодня цифровизация и инновации проникли в сферы бизнеса и жизни, и транслируются на государственном уровне во всех странах мира как преимущество и упрощение существующих классических алгоритмов при получении услуг. Развитие цифровых технологий в банковской сфере началось до эпидемии COVID-19: электронный банк, безналичные переводы, заказы карт, позднее — получение кредита и подписание электронной документации. В реалиях современной экономики и рынок недвижимости подвергся массовой цифровизации, что является инновационным трендом. Коллаборация банковских цифровых технологий и онлайн-подписание договоров купли-продажи недвижимости со стороны девелоперов позволило создать бесшовный цифровой процесс, который состоит из нескольких этапов с участием трех сторон: банк, девелопер и клиент. Основные преимущества этого процесса — сокращение большого количества бумажной документации по сделке за счет переноса документооборота в онлайн-формат и снижение временных затрат на оформление и проведение сделки для всех участников более чем в 2 раза.

Материалы и методы. Использованы открытые статистические данные с сайтов ДОМ.РФ, ЦБ РФ, ПАО «Сбербанк», ДомКлик, ПАО «ПИК-специализированный застройщик» за 2022 год. Применены методы исследований: сравнение и анализ синтеза изученных и модельных данных.

Результаты. Рассмотрены основные маркетинговые тренды на рынке недвижимости в сфере внедрения инновационных сервисов в процесс оформления сделок с недвижимостью. Проведен сравнительный анализ условий выдачи ипотечных кредитов с учетом влияния различных программ на стоимость реализации квартир. Предложена новая ипотечная программа, позволяющая сохранить потенциальных клиентов, привлекая их инновационным ипотечным продуктом.

Выводы. Электронные сервисы при оформлении сделок с недвижимостью являются инновационным продуктом цифрового формата, который развивается и привлекает массового потребителя. Клиенты ценят индивидуальный подход, экономию издержек и сокращение времени при оформлении сделки.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: цифровизация, инновации, коллаборация, электронные сервисы, электронно-цифровая подпись, недвижимость, ипотека

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Волкова Н.А., Королева Л.Л. Инновационный подход к сделкам с недвижимостью с применением цифровых технологий // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 7. С. 954–963. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.7.954-963

Автор, ответственный за переписку: Наталья Александровна Волкова, VolkovANA@mgsu.ru.

An innovative approach to real estate transactions using digital technology

Natalia A. Volkova¹, Liudmila L. Koroleva²

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

² Russian State University of Tourism and Service (RGUTIS); Moscow region, Cherkizovo village,
Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Today, digitalization and innovation have penetrated into all areas of business, spheres of life and are broadcast at government levels in all countries of the world as an advantage and simplification of existing classical algorithms in

obtaining all kinds of services. The development of digital technology in banking began even before the COVID-19 epidemic: electronic banking, cashless transfers, card orders, later — receiving credit and signing electronic documents.

In the realities of today's economy, the real estate market has also undergone mass digitalization, which is an innovative trend. Collaboration of bank digital technologies and online signing of real estate purchase agreements by developers has created a seamless digital process, which consists of several stages involving three parties: the bank, the developer and the client. The main advantages of this process is the reduction of a large amount of paper documents due to the transfer of the document flow into the online format and reducing the time spent on the execution and transaction for all participants by more than 2 times.

Materials and methods. The research uses open statistical data from the websites of DOM.RF, Central Bank of Russia, Sberbank PJSC, DomKlik, PIK-specialized developer PJSC for 2022. The following research methods are used: comparison and synthesis analysis of the studied and model data.

Results. The review article considered the main marketing trends in the real estate market in the introduction of innovative services in the process of processing real estate transactions. Also, a comparative analysis of the conditions of mortgage lending with regard to the impact of different programs on the cost of selling apartments was carried out. A new mortgage program has been offered which allows to retain potential clients by attracting them with an innovative mortgage product.

Conclusions. Electronic services for real estate transactions are an innovative product in the digital format, which develops and attracts the mass consumer. In turn, customers appreciate the individual approach, significant cost savings and reduced time when processing the transaction.

KEYWORDS: digitalization, innovation, collaboration, electronic services, electronic digital signature, real estate, mortgage

FOR CITATION: Volkova N.A., Koroleva L.L. An innovative approach to real estate transactions using digital technology. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2022; 17(7):954-963. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.7.954-963 (rus.).

Corresponding author: Natalia A. Volkova, VolkovaNA@mgsu.ru.

ВВЕДЕНИЕ

На состояние рынка недвижимости в России оказали ощутимое влияние не только пандемия коронавирусной инфекции, затронувшая различные аспекты сферы экономики за последние несколько лет, но и сегодняшняя ситуация в мире. Санкции, наложенные на российские компании, привели к сокращению объемов продаж или к стагнации бизнеса, что отразилось на ухудшении экономических показателей. Ситуация также усугубляется ростом безработицы, оттоком капитала из страны и отрицательным ростом ВВП.

Компании различных секторов экономики в условиях пандемии начали массово предоставлять различные услуги в онлайн-формате. Самоизоляция стала сильнейшим толчком к развитию онлайн-обслуживания и повсеместному внедрению инноваций в этой сфере. Вслед за банками, которые стали реализовывать более 80 % кредитных продуктов через онлайн-сервисы, потянулись и непосредственные застройщики, которые в тесном сотрудничестве с банками смогли не только увеличить объемы продаж, но и оптимизировать это направление, упростив процедуру приобретения недвижимости.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Инновационные технологии при оформлении сделок с недвижимостью основаны на таком понятии, как цифровизация — это процесс преобразования информации в цифровую форму, приводящий к снижению издержек и появлению новых цифровых возможностей [1]. Компании, работающие на рынке недвижимости, используют при создании своих цифровых проектов IT-технологии (такие как большие данные (Big Data), облачные вычисления, интернет вещей, погру-

жение в социальные сети, блокчейн, электронные сервисы). Этот тренд позволяет сформировать портрет клиента и удовлетворить его потребности, оценив возможности и используя последние достижения внедрения технологий обработки больших данных.

Клиентоориентированность девелоперских компаний помогает их клиентам сократить издержки при совершении сделок, сэкономить время, при этом не потеряв на качестве оформления сделки [2]. Сегодня посещение офиса стало необязательным действием при покупке недвижимости. Можно просто зайти на сайт, зарегистрироваться в личном кабинете, оставить заявку, забронировав объект недвижимости, и ждать одобрения заявки. После одобрения остается только собрать документы, отсканировать и отправить застройщику, далее после оформления пакета документов подписать их с помощью электронно-цифровой подписи.

Если проследить историю внедрения процесса подачи электронных документов в Росреестр, то начало положили отдельные статьи Федерального закона № 218-ФЗ «О государственной регистрации недвижимости», введенные в действие 02.01.2017. Эту возможность обеспечило использование участником личного кабинета и подключение к API Росреестра. Процедура позволила сократить девелоперам время, которое приравнивалось к недополучению запланированных доходов, так как использовать денежные средства застройщик мог только после регистрации объекта. А внедрение эскроу-счетов дало возможность государству развить защитные механизмы от неверных стратегий девелоперских компаний и различных мошеннических действий.

Банки на рынке недвижимости, стремясь перенять и персонализировать опыт своих партнеров, стараются предоставлять им продукты и услуги, на-

ценные на сферу их деятельности [3]. Можно отметить ряд инновационных трендов в сфере маркетинга, позволяющих оказывать множество услуг в электронном формате и объединить банки с их партнерами в различных сферах экономики. Так, цифровизация получения ипотечного кредита и формирование рынка электронных закладных являются основными стратегиями работы банков, девелоперских компаний и госкорпораций. При этом залоговое кредитование в различных банках имеет ряд своих правил и особенностей, что затрудняет процесс унификации данной процедуры [4].

На рынке недвижимости в настоящее время имеется сервис сделка.дом.рф [5], который выведен на рынок финансовым институтом развития в жилищной сфере «ДОМ.РФ» [6]. Этот сервис помогает участникам сделки с недвижимостью, не выходя из дома, смоделировать весь путь: от определения покупаемого объекта недвижимости на первичном рынке до момента получения комплекта зарегистрированных документов через один из удостоверяющих центров. Сервис сделка.дом.рф пользуется большим спросом у застройщиков, риелторов и банков, здесь можно оформить любую «электронную сделку», такую как подача заявки в Росреестр, оплата госпошлины, регистрация электронной закладной и др.

Всеми стартапами в области инновационных IT-внедрений на рынке недвижимости занимается «ДОМ.РФ.ТЕХ» [7]. 8 июля 2022 г. были представлены такие инновационные проекты, как разработка бизнес-требований для развития сервиса сделка.дом.рф, разработка рекомендательной системы для каталога новостроек, развитие аналитической отчетности в ЕХД: дашборд Data Governance, дашборд метрик тестирования ПО, витрина автоматизации подсчета коэффициента рисков застройщика и автоматизация заполнения справочника ценных бумаг для бэк-офиса ДОМ.РФ [8].

Следует отметить усиление роли государства в сделках с недвижимостью. Господдержка строительных компаний посредством выдачи льготной ипотеки оказывает существенное влияние на рынок недвижимости, регулируя ставки по кредиту и условия приобретения объекта недвижимости.

Табл. 2. Условия различных ипотечных программ от ПАО «ПИК-специализированный застройщик» на срок 30 лет с минимальным первоначальным взносом 15 % [10]

Table 2. Conditions of various mortgage programs from PJSC “PIK-specialized developer” for a period of 30 years with a minimum down payment of 15 % [10]

Название Name	Стоимость квартиры, руб. The cost of the apartment, rubles	Ставка, % Rate, %	Сумма кредита в месяц, руб. Amount of credit payment per month, rubles	Переплата по процентам за весь срок, руб. Interest overpaid for the entire term, rubles	Переплата по процентам за весь срок, % Interest overpaid for the entire term, %
Ипотека 0,1 % Mortgage 0.1 %	7 594 607	0,1	18 252	114 805	1,51
Господдержка Government support	6 181 755	6,7	32 737	8 178 446	132,30

Средневзвешенные ставки по ТОП-20 банков на 08.07.2022 г. представлены в табл. 1.

Табл. 1. Средневзвешенные ставки по ТОП-20 банков, % годовых на 08.07.2022 г. [9]

Table 1. Weighted average rates for the TOP 20 banks, % per annum as of 08.07.2022 [9]

Название программы Programme name	Ставка процента, % Interest rate, %
Новостройка New building	10,7
Господдержка 2020 Government support 2020	6,63
Семейная ипотека Family mortgage	5,64
Вторичный рынок Secondary market	10,82
Рефинансирование Refinancing	10,77

Средневзвешенные ставки по госпрограммам значительно отличаются от тех, что установлены на рынке, поэтому нужно более подробно рассмотреть ситуацию на рынке недвижимости. Так, выведение на рынок нового ипотечного продукта, помогающего девелоперским компаниям привлечь новых клиентов, позволяет увеличить прибыль банка и его партнеров. Можно рассмотреть работу такой компании, как ПАО «ПИК-специализированный застройщик» и ее ипотечные программы, представленные в цифровом формате. Объектом недвижимости будет выбрана квартира-студия 22,4 м² в строящемся жилом комплексе «Поляр», располагающемся в районе Северное Медведково г. Москвы, стоимость которой 7 253 049 руб. (323 797 руб. за м²), срок заселения — до 28.02.2026 г. Также необходимо отметить, что при покупке за наличные денежные средства действует скидка в 15 %, стоимость данной квартиры тогда составит 6 186 700 руб. Условия различных ипотечных программ на данную квартиру представлены в табл. 2, 3.

Окончание табл. 2 / End of the Table 2

Название Name	Стоимость квартиры, руб. The cost of the apartment, rubles	Ставка, % Rate, %	Сумма кредита в месяц, руб. Amount of credit payment per month, rubles	Переплата по процентам за весь срок, руб. Interest overpaid for the entire term, rubles	Переплата по процентам за весь срок, % Interest overpaid for the entire term, %
Семейная ипотека Family mortgage	6 185 909	5,3	32 759	6 180 153	99,91
Ипотека 4,99 % Mortgage 4.99 %	6 725 374	4,99	30 328	6 256 993	93,04
Семейная 1,99 % Family 1.99 %	6 824 084	1,99	21 201	2 243 963	32,88
Ипотека 1,99 % Mortgage 1.99 %	7 212 051	1,99	22 674	2 371 538	32,88

Табл. 3. Условия различных ипотечных программ от ПАО «ПИК-специализированный застройщик» на срок 15 лет с первоначальным взносом 30 % [10]

Table 3. Conditions of various mortgage programs from PJSC “PIK-specialized developer” for a period of 15 years with an initial payment of 30 % [10]

Название Name	Стоимость квартиры, руб. The cost of the apartment, rubles	Ставка, % Rate, %	Сумма кредита в месяц, руб. Amount of credit per month, rubles	Переплата по процентам за весь срок, руб. Interest overpaid for the entire term, rubles	Переплата по процентам за весь срок, % Interest overpaid for the entire term, %
Ипотека 0,1 % Mortgage 0.1 %	7 253 049	0,10	40 599	54 852	0,76
Господдержка Government support	6 181 755	6,70	54 532	3 636 427	58,83
Семейная ипотека Family mortgage	6 185 909	5,30	49 890	2 795 865	45,20
Ипотека 4,99 % Mortgage 4.99 %	6 620 247	4,99	52 318	2 798 523	42,27
Семейная 1,99 % Family 1.99 %	6 686 532	1,99	42 998	1 053 435	15,75
Ипотека 1,99 % Mortgage 1.99 %	6 977 037	1,99	44 866	1 099 203	15,75

Анализ табл. 2, 3 показывает, что, чем меньше ставка по ипотечному кредиту, тем больше стоимость квартиры на первоначальном этапе. Переплата по процентам сокращается в зависимости от срока ипотечного кредита, а сумма основного долга, выплачиваемая в месяц, увеличивается. При переносе данных на график (рис.) можно проследить тенденцию роста цен на квартиру от застройщика в зависимости от срока. Она растет пропорционально сроку, и в период до 10 лет при различных ипотечных программах не несет никакой выгоды.

На основании проведенного исследования можно предложить вариант новой ипотечной программы с переменной процентной ставкой. Это позволит девелоперам предлагать более выгодные процентные ставки по ипотечным программам, а банкам сокра-

тить свои затраты при проведении сделок в онлайн-формате.

В соответствии со ст. 5 Федерального закона № 353-ФЗ «О потребительском кредите (займе)» кредитор не может в одностороннем порядке ухудшать кредитные условия заемщика. Это значит, что необходимо предложить ипотечную программу, которая при выполнении определенных требований банка и компании-девелопера будет предоставлять льготы для клиента.

Сегодня средняя ставка по ипотеке на рынке новостроек колеблется от 10,9 % годовых, ключевая ставка при этом 9,5 % годовых, маржа банка и всевозможные надбавки составляют разницу между ними 1,4 % годовых. Предельное значение полной стоимости потребительских кредитов, обязательства

заемщиков по которым обеспечены ипотекой, предоставляемых на цели приобретения объекта недвижимости либо на рефинансирование задолженности — 14,324 % [11].

Новый ипотечный продукт с плавающей процентной ставкой будет выдаваться на следующих условиях:

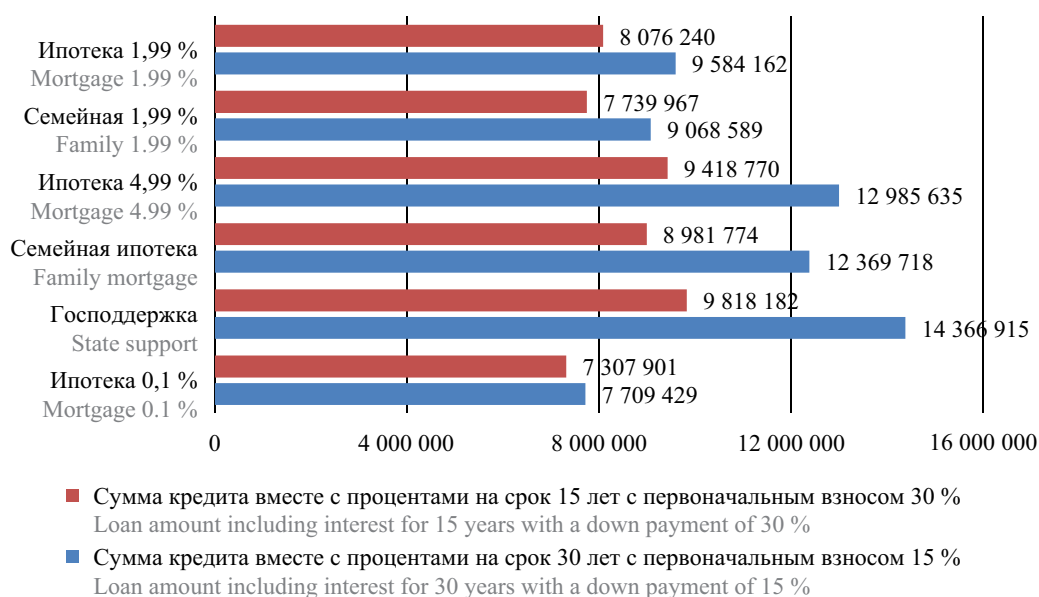
- сумма ипотечного кредита — до 15 млн руб.;
- срок кредита — от 15 до 30 лет;
- валюта кредита — рубли РФ;
- процентная ставка — от 10,9 до 13,5 %;
- возможный дисконт от процентной ставки — 0,5 % (на первый год кредитования при условии

оформления заявки на кредит и проведении сделки на приобретение недвижимости онлайн).

Чтобы понять механизм работы нового продукта, сравним его с обычным ипотечным кредитом с фиксированной процентной ставкой. Например, пусть квартира стоит 10 млн руб., первоначальный взнос 20 %, срок предоставления кредита — 15 лет под процентную ставку 10,9 % годовых.

Результаты расчета представлены в табл. 4.

Итак, ежемесячный платеж на первый год кредитования составит 90 426,04 руб., а переплата по процентам за первый год кредитования — 861 024,19 руб.



Сумма кредита вместе с процентами на срок 15 и 30 лет с первоначальным взносом 30 и 15 % соответственно
 The loan amount together with the interest amount for a period of 15 and 30 years with a down payment of 30 and 15 %, respectively

Табл. 4. График платежей по ипотечной программе сроком на 15 лет с первоначальным взносом 20 % и под процентную ставку 10,9 % годовых

Table 4. Schedule of payments under the mortgage program for a period of 15 years with an initial payment of 20 % and at an interest rate of 10.9 % per annum

Месяц Month	Сумма платежа, руб. Payment amount, rubles	Платеж по основному долгу, руб. Principal debt payment, rubles	Платеж по процентам, руб. Interest payment, rubles	Остаток долга, руб. Debt balance, rubles
Июль 2022 July 2022	90 426,04	17 759,37	72 666,67	7 982 240,63
Август 2022 August 2022	90 426,04	17 920,69	72 505,35	7 964 319,94
Сентябрь 2022 September 2022	90 426,04	18 083,47	72 342,57	7 946 236,47
Октябрь 2022 October 2022	90 426,04	18 247,73	72 178,31	7 927 988,74
Ноябрь 2022 November 2022	90 426,04	18 413,48	72 012,56	7 909 575,26

Окончание табл. 4 / End of the Table 4

Месяц Month	Сумма платежа, руб. Payment amount, rubles	Платеж по основному долгу, руб. Principal debt payment, rubles	Платеж по процентам, руб. Interest payment, rubles	Остаток долга, руб. Debt balance, rubles
Декабрь 2022 December 2022	90 426,04	18 580,73	71 845,31	7 890 994,53
Январь 2023 January 2023	90 426,04	18 749,51	71 676,53	7 872 245,02
Февраль 2023 February 2023	90 426,04	18 919,81	71 506,23	7 853 325,21
Март 2023 March 2023	90 426,04	19 091,67	71 334,37	7 834 233,54
Апрель 2023 April 2023	90 426,04	19 265,09	71 160,95	7 814 968,45
Май 2023 May 2023	90 426,04	19 440,08	70 985,96	7 795 528,37
Июнь 2023 June 2023	90 426,04	19 616,66	70 809,38	7 775 911,71
Итого за год Total for the year	1 085 112,48	224 088,29	861 024,19	

Табл. 5. График платежей по ипотечной программе сроком на 15 лет с первоначальным взносом 20 % и под процентную ставку 10,4 % годовых

Table 5. Schedule of payments under the mortgage program for a period of 15 years with an initial payment of 20 % and at an interest rate of 10.4 % per annum

Месяц Month	Сумма платежа, руб. Payment amount, rubles	Платеж по основному долгу, руб. Principal debt payment, rubles	Платеж по процентам, руб. Interest payment, rubles	Остаток долга, руб. Debt balance, rubles
Июль 2022 July 2022	87 936,60	18 603,27	69 333,33	7 981 396,73
Август 2022 August 2022	87 936,60	18 764,50	69 172,10	7 962 632,23
Сентябрь 2022 September 2022	87 936,60	18 927,12	69 009,48	7 943 705,11
Октябрь 2022 October 2022	87 936,60	19 091,16	68 845,44	7 924 613,95
Ноябрь 2022 November 2022	87 936,60	19 256,61	68 679,99	7 905 357,34
Декабрь 2022 December 2022	87 936,60	19 423,50	68 513,10	7 885 933,84
Январь 2023 January 2023	87 936,60	19 591,84	68 344,76	7 866 342,00
Февраль 2023 February 2023	87 936,60	19 761,64	68 174,96	7 846 580,36
Март 2023 March 2023	87 936,60	19 932,90	68 003,70	7 826 647,46
Апрель 2023 April 2023	87 936,60	20 105,66	67 830,94	7 806 541,80
Май 2023 May 2023	87 936,60	20 279,90	67 656,70	7 786 261,90
Июнь 2023 June 2023	87 936,60	20 455,66	67 480,94	7 765 806,24
Итого за год Total for the year	1 055 239,20	234 193,76	821 045,44	

Теперь рассмотрим те же данные, только с условием, что ипотека выдается под плавающую процентную ставку, и на первый год процентная ставка составит 10,4 %, а на второй и последующие — 10,9 % (табл. 5).

Итак, ежемесячный платеж на первый год кредитования составит 87 936,60 руб., а переплата по процентам за первый год кредитования — 821 045,44 руб.

За счет применения инновационных технологий и переменной процентной ставки мы снизили ежемесячный платеж для клиента на первый год на 2 489,44 руб., а переплата по кредиту сократилась на 39 978,75 руб., предложили ипотечный кредит, который позволяет ощутимо оценить экономию для клиента, сократить время и трудозатраты при проведении сделки за счет подписания электронных документов со стороны банка и со стороны компании девелопера.

Данный вариант ипотечного кредитования можно считать альтернативой сегодняшнему жилищному кредиту. Он, не увеличивая нагрузку на заемщика, делает ипотеку более доступной и не привлекает дополнительных затрат из бюджета. При этом при отмене государственной программы будет доступна ипотека по ставке от 10,4 %, что не сильно будет отличаться от нынешнего оптимального предложения, озвученного застройщиками на своих сайтах.

В результате использования приведенного выше метода расчета экономической выгоды и сравнения абсолютных показателей при пользовании онлайн-сервисами и оформления сделки без них выбирается оптимальный вариант ипотечной программы, экономически выгодный для всех трех сторон — участников ипотечной сделки. То есть при выборе программы кредитования и оформлении документов

электронный сервис предоставляет клиенту скидку на процентную ставку по ипотеке, сам же банк и застройщик существенно сокращают время и расходы на бумажные документы, оптимизируя процесс подписания и оформления сделки с недвижимостью.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Компании-застройщики, инвестирующие в новые технологии и внедряющие нововведения, работая со стабильными и крупными банками, связанными в том числе и с государством, более устойчивы и популярны, поскольку благодаря «инновационной гонке»¹ [12, 13] использование инноваций является основным маркетинговым преимуществом [14]. Например, такой банк-новатор как ПАО «Сбербанк» постоянно проводит различные акции, напоминая о себе клиентам, он имеет хорошие финансовые результаты, достаточно широкий и конкурентный ассортимент банковских продуктов, востребован на рынке недвижимости, имеет высокие рейтинги ведущих рейтинговых агентств и положительные отзывы клиентов. Его основной проводник в сфере недвижимости сайт «Домклик» [15], являющийся сервисом полного цикла оформления сделки. Помимо этого, на рынке существуют и другие электронные сервисы Авито Недвижимость, Домофонд, Циан, Яндекс.Недвижимость [16]. Рейтинг их посещения представлен в табл. 6.

Рассмотренные в табл. 6 электронные сервисы предоставляют потребителю актуальную информацию, помогают подобрать квартиру по определенным характеристикам, важным для покупателя на первич-

¹ Программа развития цифровой экономики в Российской Федерации до 2035 года. URL: <http://innclub.info/wp-content/uploads/2017/05/strategy.pdf/>

Табл. 6. Показатели трафика посещений интернет-ресурсов сервисов недвижимости [17]

Table 6. Traffic indicators of visits to Internet resources of real estate services [17]

Наименование сервиса/ адрес сайта Service name/website address	Ежемесячные посещения (млн чел., октябрь–декабрь 2020 г.) Monthly visits (million people, October–December 2020)	Ежемесячные уникальные посетители (млн чел., октябрь–декабрь 2020 г.) Monthly unique visitors (million people, October– December 2020)	Всего посещений (млн чел., ноябрь 2021 г.) Total visits (million people, November 2021)
Циан (cian.ru) Cian (cian.ru)	89,82	9,05	28,82
Яндекс.Недвижимость (realty. yandex.ru) Yandex. Real Estate (realty. yandex.ru)	22,24	3,32	6,58
Домклик (Domclick.ru) Domclick (Domclick.ru)	33,56	3,03	11,91
Домофонд (domofond.ru) Domofond (domofond.ru)	12,74	1,77	3,84
Авито Недвижимость (avito.ru) Avito Real Estate (avito.ru)	772,4	33,54	279,6

ном и вторичном рынках, выполняют роль риелтора, выступая бесплатным посредником. Но особой отличительной чертой этих сервисов является предоставление оформления различных видов сделок, которые сокращают издержки участников рынка недвижимости и время оформления всех бумаг, сопровождающих сделку.

Электронные сервисы честно предоставляют заемщику полную информацию по кредиту: рассказывают про все риски, связанные с процессом ипотечного кредитования, показывают расчеты графиков платежей и сравнивают ряд продуктов ипотечной линейки. Клиент должен при заключении сделки с недвижимостью четко понимать, что может произойти через 10–15 лет в случае повышения ключевой ставки или уменьшения ее до 0 %. Он должен осознавать, что его кредит может в дальнейшем превратиться из 20-летнего в 30-летний, а страховкой при этом могут служить различные индивидуальные предложения банков-партнеров, ни в коей мере не ухудшающие положения заемщика в соответствии с законодательством. Также у клиента должен быть запас прочности по доходу и накоплению, срок кредита должен быть наименьшим или у него должна быть недвижимость, за счет которой в случае необходимости он может закрыть ставший неудобным ему кредит. Чтобы посчитать размер дохода банка, нужно, например, взять сумму переплаты из первого варианта расчета, она составила 8 276 684,87 руб., а сумма кредита при этом составила 8 000 002,33 руб., что в совокупности дает 16 276 687,20 руб.

Если рассмотреть продвижение предлагаемого кредитного продукта, то необходимо создать рекламу в интернете и на радио, а также применить наружную рекламу. При условии, что затраты на рекламу не должны превышать 10 % от дохода, это составляет $8\,276\,685 \cdot 10\% = 82\,767$ руб. в год с одного кредита, рекламировать этот продукт банку предполагается от 6 месяцев до 1 года в условиях постоянных изменений. Экономический эффект от внедрения данного вида кредита составит $8\,276\,685 - 82\,767 \cdot 1 \text{ год} = 8\,193\,918$ руб., что принесет инициатору дополнительную прибыль в этом размере с одного кредита, а при условии, что кредит возьмут 1000 человек, прибыль банка составит 8193 млрд руб., что увеличит объем кредитного портфеля физических лиц.

Альтернативой этому для участников рынка недвижимости служат собственные электронные сервисы, которые помогают увеличить экономический эффект, исключив дополнительные расходы на рекламу. Эти инновационные технологии при оформлении сделок с недвижимостью также стимулируют клиентов к оформлению сделки онлайн, так как электронные сервисы имеют различные дополнительные опции, которые привлекают клиентов; базы объявлений и предложений разнятся на различных электронных платформах, что дает возможность выбора оптимального варианта; мобильные сервисы функциональны и интуитивно настроены на покупа-

телей, что тоже является весьма привлекательным для клиента [18, 19].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе исследования авторы отмечают, что продвижение такого инновационного процесса как цифровизация на рынке недвижимости для бизнеса несет неоспоримые преимущества. С другой стороны — не все клиенты доверяют и готовы переходить на электронный документооборот. Риски, которые можно выделить — это потеря или «утечка» персональных данных через интернет, а также недостаточное развитие законодательства и ответственности за сохранение персональных данных клиента. Электронный документооборот и цифровизация покупки недвижимости свойственны и поддерживаются в большинстве стран мира, а также подкреплены на законодательном уровне. Например, для стратегии цифрового развития Соединенного Королевства Великобритании и Северной Ирландии закреплены следующие понятия: цифровая среда, цифровая повестка дня, цифровой рынок и т.д. [20]. Законодательство Франции использует такие термины, как «электронная торговля», «электронная коммерция»².

Мировые эксперты в области ипотечного кредитования и цифрового обслуживания клиентов, такие как Rohit Singh, Ayush Madan, Akshay Kapoor, в работе [21] сходятся в едином мнении, что цифровое обслуживание приносит пользу инициаторам ипотечных кредитов и стимулирует рост доходов и повышение операционной эффективности.

Российские эксперты директор департамента развития финансового рынка ЦБ РФ Е.В. Чайковская, управляющий директора Московской биржи И.С. Алутин выделяют инновационным направлением развития именно коллаборацию между банками и финтех-компаниями, где клиент получает все банковские услуги через личный кабинет онлайн.

На основе представленных материалов и мнений можно сделать вывод, что электронные сервисы полного цикла взаимодействия (от выбора объекта недвижимости до заключения сделки в Росреестре) востребованы как никогда и направлены на выстраивание персональных отношений между всеми участниками сделки. Центральный банк России и разработка законодательства в данном направлении задают доступный и открытый вектор цифровых новшеств, который помогает специалистам настроить работу компаний по-другому, учитывая возможность анализа данных и необходимого количества инвестиций и финансирования сферы недвижимости.

² Décret No. 2020-1014 du 7 août 2020 fixant la date d'entrée en vigueur de certaines dispositions relatives à la réduction d'impôt pour souscription en numéraire au capital des petites et moyennes entreprises // Légifrance. URL: <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000801164>

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Королева Л.Л. Совершенствование процесса выдачи кредитов при помощи цифровизации // Инновационное развитие экономики: тенденции и перспективы. 2021. Т. 1. С. 93–100.
2. Дудин М.Н., Толмачев О.М. Практика внедрения инновационных технологий в строительной отрасли // Вопросы инновационной экономики. 2017. Т. 7. № 4. С. 407–416. DOI: 10.18334/vines.7.4.38626
3. Шурыгина Е.В. Внедрение цифровых технологий в сферу недвижимости // Международный журнал прикладных наук и технологий Integral. 2020. № 2–2. С. 38.
4. Печковская Д.С., Кораблева О.Н. Адаптация бизнеса к условиям цифровой экономики // Управление бизнесом в цифровой экономике : сб. тез. выступлений. 2019. С. 332–334.
5. Цифровая платформа для проведения дистанционных сделок с недвижимостью. URL: <https://сделка.дом.рф/>
6. ДОМ.РФ — финансовый институт развития в жилищной сфере. URL: <https://дом.рф/>
7. Колосова Н. Цифровизация в работе с персоналом требует инвестиций, но дает большую отдачу // Хероx. 2017. URL: <https://www.xerоx.ru/presscentre/publications/1091620/>
8. Telegram о работе в IT и Digital в ДОМ.РФ. URL: https://t.me/domrf_tech
9. Средневзвешенные ставки по ТОП-20 банков. URL: <https://www.дом.рф/analytics/mortgage/>
10. Условия различных ипотечных программ от ПАО «ПИК-специализированный застройщик». URL: <https://www.pik.ru/plr/flats/815931>
11. Среднерыночные значения полной стоимости потребительского кредита (займа) // Банк России. 2022. URL: https://cbr.ru/statistics/bank_sector/psk/
12. Бакрунов Ю.О., Васильева Е.Ю., Верстни-на Н.Г., Глазкова В.В., Каракозова И.В., Кулаков К.Ю. и др. Инновации в современных условиях: теоретические вопросы и практика реализации. М. : ГУУ, 2022. 142 с.
13. Городникова Н.В., Гохберг Л.М., Дитковский К.А., Кузнецова И.А., Лукинова Е.И., Мартынова С.В. и др. Индикаторы инновационной деятельности. М. : НИУ ВШЭ, 2017. 328 с.
14. Шатдинов Р.С., Богданова С.Ю. Информационные технологии и новые подходы к разработке современных инструментов маркетинговых исследований // Креативная экономика. 2017. Т. 11. № 12. С. 1383–1388. DOI: 10.18334/ce.11.12.38644
15. Электронный сервис Домклик ПАО «Сбербанк России». URL: <https://domclick.ru/>
16. Онлайн-путь до нового жилья: оценка качества электронных сервисов недвижимости. 01.03.2022. URL: https://raexpert.ru/researches/development/housing_industry_2022/
17. Сервис для комплексного анализа сайтов. URL: <https://www.similarweb.com/>
18. Рынок технологий в сфере недвижимости в России. ИТ в недвижимость. 30.10.2019. URL: <https://www.tadviser.ru/index.php/>
19. Гареев И.Ф., Мухаметова Н.Н. Внедрение цифровых технологий на этапах жизненного цикла объектов жилой недвижимости // Жилищные стратегии. 2018. Т. 5. № 3.
20. UK Digital Strategy. URL: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1089103/UK_Digital_Strategy_web_accessible.pdf
21. Singh R., Madan A., Kapoor A. Deploying advanced analytics in mortgage originations. URL: <https://www.mckinsey.com/industries/financial-services/our-insights/banking-matters/deploying-advanced-analytics-in-mortgage-originations>

Поступила в редакцию 22 июня 2022 г.

Принята в доработанном виде 15 июля 2022 г.

Одобрена для публикации 21 июля 2022 г.

ОБ АВТОРАХ: Наталья Александровна Волкова — преподаватель кафедры менеджмента и инноваций; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 710161, ORCID: 0000-0002-6055-1221; VolkovaNA@mgsu.ru;

Людмила Леонидовна Королева — преподаватель; Российский государственный университет туризма и сервиса (РГУТИС); 141221, Московская обл., п. Черкизово, ул. Главная, д. 99; РИНЦ ID: 1053247, ORCID: 0000-0002-6416-8422; lyudmilalkoroleva@gmail.com.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Koroleva L.L. Improving the process of issuing loans through digitalization. *Innovative Development of the Economy: Trends and Prospects*. 2021; 1:93-100. (rus.).
2. Dudin M.N., Tolmachev O.M. Introduction of innovative technologies in the construction industry. *Russian Journal of Innovation Economics*. 2017; 7(4):407-416. DOI: 10.18334/vinec.7.4.38626 (rus.).
3. Shurygina E.V. Introduction of digital technologies in the field of real estate. *International Journal of Applied Sciences and Technology Integral*. 2020; 2-2:38. (rus.).
4. Pechkovskaya D.S., Korableva O.N. Adaptation of business to the conditions of the digital economy. *Business Management in the Digital Economy: Collection of Abstracts of Speeches*. 2019; 332-334. (rus.).
5. *Digital platform for remote real estate transactions*. URL: <https://сделка.дом.пф/>
6. *DOM.RF — financial institute for development in the housing sector*. URL: <https://дом.пф/>
7. Kolosova N. Digitalization in working with personnel requires investment, but gives a great return. *Xerox*. 2017. URL: <https://www.xerox.ru/presscentre/publications/1091620/>
8. *Telegram channel about working in IT and Digital in DOM.RF*. URL: https://t.me/domrf_tech
9. *Weighted average rates for TOP-20 banks*. URL: <https://www.дом.пф/analytics/mortgage/>
10. *Conditions of various mortgage programs from PJSC “PIK-specialized developer”*. URL: <https://www.pik.ru/plr/flats/815931>
11. Average market values of the total cost of consumer credit (loan). *Bank of Russia*. 2022. URL: https://cbr.ru/statistics/bank_sector/psk/
12. Bakrunov Yu.O., Vasilyeva E.Yu., Verstina N.G., Glazkova V.V., Karakozova I.V., Kulakov K.Yu. et al. *Innovations in modern conditions: theoretical issues and implementation practice*. Moscow, GUU, 2022; 142. (rus.).
13. Gorodnikova N.V., Gokhberg L.M., Ditzkovsky K.A., Kuznetsova I.A., Lukinova E.I., Martynova S.V. et al. *Indicators of innovation activity*. Moscow, NRU HSE, 2017; 328. (rus.).
14. Shatdinov R.S., Bogdanova S.Yu. Information technologies and new approaches to the development of modern tools for marketing research. *Creative Economy*. 2017; 11(12):1383-1388. DOI: 10.18334/ce.11.12.38644 (rus.).
15. *Electronic service Domclick PJSC “Sberbank of Russia”*. URL: <https://domclick.ru/>
16. *Online path to new housing: assessment of the quality of electronic real estate services. 01.03.2022*. URL: https://raexpert.ru/researches/development/housing_industry_2022/
17. *Service for complex analysis of website*. URL: <https://www.similarweb.com/>
18. Real estate technology market in Russia. *IT in real estate*. 30.10.2019. URL: <https://www.tadviser.ru/index.php/>
19. Gareev I.F., Mukhametova N.N. The introduction of digital technologies at the stages of the life cycle of residential real estate. *Russian Journal of Housing Research*. 2018; 5(3). (rus.).
20. *UK Digital Strategy*. URL: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1089103/UK_Digital_Strategy_web_accessible.pdf
21. Singh R., Madan A., Kapoor A. Deploying advanced analytics in mortgage originations. URL: <https://www.mckinsey.com/industries/financial-services/our-insights/banking-matters/deploying-advanced-analytics-in-mortgage-originations>

Received June 22, 2022.

Adopted in revised form on July 15, 2022.

Approved for publication on July 21, 2022.

B I O N O T E S: **Natalia A. Volkova** — 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: 710161, ORCID: 0000-0002-6055-1221; VolkovaNA@mgsu.ru;

Lyudmila L. Koroleva — lecturer; **Russian State University of Tourism and Service (RGUTIS)**; 99 Main st., Moscow region, Cherkizovo village, 141221, Russian Federation; ID RISC: 1053247, ORCID: 0000-0002-6416-8422; lyudmilalkoroleva@gmail.com.

Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The authors declare no conflict of interest.

Применение инновационных подходов к процессу формирования первоначальной стоимости основных производственных фондов предприятий нефтегазового комплекса

Валерия Викторовна Глазкова, Александр Владимирович Белоконов

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Несмотря на барьеры внешней среды, объемы добычи нефтегазовых ресурсов не снижаются, что обуславливает увеличение строительства объектов нефтегазового комплекса (ОНК). При строительстве ОНК и дальнейшем вводе их в эксплуатацию формируются объекты, непосредственно участвующие в производственном процессе, речь идет о создании основных производственных фондов (ОПФ) нефтегазового комплекса. Для определения первоначальной стоимости ОПФ необходимо учитывать все затраты, которые были осуществлены для их получения. Цель исследования — представление авторского подхода к процессу формирования первоначальной стоимости ОПФ предприятий нефтегазового комплекса. Для этого решались задачи, связанные с выявлением факторов, влияющих на управление проектами по строительству ОНК, изучением инновационных подходов к установлению стоимости строительства ОНК на предпроектной стадии, а также разработкой авторского подхода к определению стоимости строительства ОНК на предпроектной стадии, а для объектов, участвующих в производственном процессе после их ввода в эксплуатацию, — к формированию первоначальной стоимости ОПФ предприятий нефтегазового комплекса.

Материалы и методы. Методологическая основа исследования включает общенаучные методы анализа и синтеза, методы экспертных и сравнительных оценок, а также методы ценообразования в строительстве.

Результаты. Выделены факторы, влияющие на управление проектами по строительству ОНК, рассмотрены инновационные подходы к определению стоимости строительства ОНК на предпроектной стадии, что позволило представить авторский подход к установлению стоимости строительства ОНК на предпроектной стадии, который применим и для формирования первоначальной стоимости ОПФ предприятий нефтегазового комплекса в случае, если изучаемые объекты планируются к участию в производственном процессе после ввода в эксплуатацию.

Выводы. Предложенный авторский подход позволит достичь точности и оперативности в оценке стоимости строительства объектов на предпроектной стадии, следовательно, повысит точность формирования первоначальной стоимости ОПФ предприятий нефтегазового комплекса после ввода рассматриваемых объектов строительства в эксплуатацию.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нефтегазовый комплекс, предприятия нефтегазового комплекса, основные производственные фонды нефтегазового комплекса, строительство объектов нефтегазового комплекса, первоначальная стоимость основных производственных фондов, стоимость строительства объекта на предпроектной стадии, укрупненные показатели стоимости строительства объектов нефтегазового комплекса, объекты-аналоги

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Глазкова В.В., Белоконов А.В. Применение инновационных подходов к процессу формирования первоначальной стоимости основных производственных фондов предприятий нефтегазового комплекса // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 7. С. 964–976. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.7.964-976

Автор, ответственный за переписку: Валерия Викторовна Глазкова, leram86@mail.ru.

The application of innovative approaches to the process of determining the initial cost of fixed assets of oil and gas enterprises

Valeriya V. Glazkova, Alexander V. Belokonov

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

ABSTRACT

Introduction. Despite the barriers of the external environment, crude oil and gas recovery does not decrease, which causes an increase in the construction of oil and gas facilities. During the construction and commissioning of oil and gas facilities, objects directly involved in the production process are formed; these are the fixed production assets of oil and gas enterprises. To determine the initial cost of fixed assets, it is necessary to take into account all incurred to obtain them. Since we consider the construction of oil and gas facilities that will later have the status of fixed assets, it is advisable to study their initial cost from the standpoint of pricing in the construction industry. The purpose of the article is to present the author's

approach to the process of determining the initial cost of fixed assets of oil and gas enterprises. For this purpose, the article solves the tasks related to the identification of factors affecting the management of projects on the construction of oil and gas facilities, the study of innovative approaches to determining the cost of construction of oil and gas facilities at the pre-project stage, as well as the development of the author's approach to determining the cost of construction of oil and gas facilities at the pre-project stage, and for objects involved in the production process after their commissioning, the authors study the composition of the initial cost of fixed production assets of oil and gas enterprises.

Materials and methods. The research methodology includes general research methods of analysis and synthesis, methods of expert and comparative assessments, as well as methods of pricing in the construction industry.

Results. The factors influencing management of projects on the construction of oil and gas facilities are addressed, and innovative approaches to determining the cost of construction of oil and gas facilities at the pre-project stage are considered. Hence, the authors present their approach to determining the cost of construction of oil and gas facilities at the pre-project stage, which can also be used to determine the initial cost of fixed production assets of oil and gas enterprises, if the objects under consideration are to be involved in the production process after commissioning.

Conclusions. The proposed approach will ensure an accurate and efficient estimation of the cost of construction of facilities at the pre-project stage; therefore, it will improve the accuracy of fixed asset cost estimates after the facilities are commissioned.

KEYWORDS: oil and gas sector, oil and gas enterprises, fixed assets of the oil and gas sector, construction of oil and gas facilities, initial cost of fixed production assets, construction costs at the pre-project stage, consolidated indicators of the cost of construction of oil and gas facilities, comparable facilities

FOR CITATION: Glazkova V.V., Belokonov A.V. The application of innovative approaches to the process of determining the initial cost of fixed assets of oil and gas enterprises. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2022; 17(7):964-976. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.7.964-976 (rus.).

Corresponding authors: Valeriya V. Glazkova, leram86@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Современный нефтегазовый комплекс России представляет собой группу отраслей нефтяной и газовой промышленности, задействованных в добыче, переработке и транспортировке углеводородов. Анализируя темпы добычи и переработки нефти и газового конденсата нашей страны за последние годы (рис. 1), нельзя не отметить, что этот сегмент промышленности развивается довольно динамично и, несмотря на негативное воздействие внешней среды, сохраняет темпы развития: по сравнению с предыдущим годом прирост национальной добычи рассматриваемых ресурсов в 2021 г. составил 2,3 % или 11,25 млн т в абсолютном выражении¹.

Эксперты отрасли подчеркивают, что основным резервом нефтегазового ресурса сегодня является Арктика [1], поэтому многие месторождения открываются в районах вечной мерзлоты. Национальный приоритет освоения Северного морского пути способствует развитию соответствующей инфраструктуры комплекса, обеспечивая возможность разработки данных территорий и строительства объектов нефтегазового комплекса^{2, 3}. Кроме того, Энергетическая стратегия Российской Федерации на период 2035 г. также закрепляет приоритет опережающего развития комплекса, и среди прочих направлений, этому способствующих, выделяет создание инфраструктуры и основных производственных фондов

(ОПФ) для добычи, переработки и транспортировки ресурсов⁴.

Невзирая на современные геополитические условия, которые в текущем году влияют на снижение объемов поставок Россией нефтегазовых ресурсов ряду мировых стран, нельзя забывать о применении газа не только как топлива, но и в качестве сырья для ряда секторов промышленности (для производства химических полупродуктов, азотных удобрений, аммиака, метанола и др.), что делает данный ресурс необходимым для развития промышленности внутри страны. Следовательно, в сложившихся условиях переориентация поставок нефтегазовых ресурсов, рост базы сырья для российских производств и удовлетворения внутренних нужд способны дать толчок к развитию промышленности России, что в конечном итоге приведет к экономическому росту страны, созданию новых рабочих мест, повышению уровня жизни населения. На текущий момент в общей структуре применения природного газа его использование в качестве сырья в химической и металлургической промышленности оценивается на уровне 10 %, однако эксперты отрасли отмечают в перспективе ближайших лет рост данного показателя до 12–13 %. Это положение свидетельствует о том, что несмотря на снижение объемов закупок нефтегазового ресурса у России со стороны ряда стран мира, которое наблюдается в последние месяцы, добыча данных ресурсов не снижается. Как пишет издание «Neftegaz.RU», в мае 2022 г. добыча нефти в России вы-

¹ По данным Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации.

² Об утверждении Комплексного плана модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 года : Распоряжение Правительства РФ от 30.09.2018 № 2101-р.

³ Об Основах государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года : Указ Президента РФ от 05.03.2020 № 164.

⁴ Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года : Распоряжение Правительства РФ от 09.06.2020 № 1523-р.



Рис. 1. Добыча нефти и газового конденсата в России в 2006–2021 гг., млн т (составлено авторами по данным Росстата и Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации)

Fig. 1. Crude oil and gas condensate recovery in Russia in 2006–2021, million tons (compiled by the authors according to the data provided by the Federal State Statistics Service and the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation)

росла на 1,7 % по сравнению с апрелем 2022 г., и Россия по-прежнему занимает второе место в списке мировых стран по объемам добычи нефти, а по данным ПАО «Газпром» в мае 2022 г. произошло увеличение поставок природного газа на внутренний рынок России на 17,7 % по сравнению с маем прошлого года.

Возрастание объемов добычи нефти и газа на территории нашей страны сопровождается развитием соответствующей инфраструктуры и созданием ОПФ посредством увеличения объемов строительства названных объектов нефтегазового комплекса (ОНК). В частности, на территории п-ова Ямал и Гыданского п-ова возводятся установки комплексной подготовки газа (УКПГ) к транспорту и дожимные компрессорные станции (ДКС) и другие объекты нефтегазовой инфраструктуры, являющиеся основными производственными фондами нефтегазового комплекса [2]. Поскольку ОПФ по частям переносят собственную стоимость на готовую продукцию, то вопрос формирования первоначальной стоимости ОПФ (в частности, стоимости строительства ОНК, которые после ввода в эксплуатацию будут ОПФ комплекса) является важным и актуальным. У участников инвестиционно-строительного процесса (крупные нефтегазовые компании, выступающие инвесторами и заказчиками объектов строительства, генподрядчиками и подрядчиками) появляется потребность в точности формирования стоимости строительства ОНК, участвующих в производстве. Каждый участник проекта заинтересован в определении «справедливой» стоимости строительства объекта: как инвесторы и заказчики, которые не желают переплачивать сверх оговоренной в контракте стоимости и удлинять цикл возвращения стоимости ОПФ, так и подрядчики, которые хотят быть уверены в том, что цена по договору окажется достаточной для покрытия расходов и получения необходимой нормы при-

были. Однако на практике серьезной проблемой становится несоблюдение заявленных стоимости, трудоемкости и сроков реализации проектов по строительству ОНК. Анализ информации по стоимости построенных компанией ООО «Арктик СПГ 2» за последние три года и введенных в эксплуатацию ОНК, проведенный авторами (табл. 1), подтверждает факт несоблюдения указанных параметров при их строительстве.

Для рассмотренных в табл. 1 показателей в большинстве случаев отклонение плана от факта вызвано неправильными расчетами на предпроектной стадии, когда детально проработанного проекта еще не существовало, однако в контракте цену необходимо было определить. Конечно, более точная оценка достигается за счет применения сметных нормативов при оценке цены строительства объекта. Однако сложившаяся практика составления сметной документации для установления объема денежных средств определяет необходимость тщательной проработки технических вопросов, точного подсчета объемов работ, выбора используемых технологий и материалов, что, безусловно, требует продолжительного времени для подготовки. Подобная система оценки оправдана, но там, где ключевую роль в проекте играет государство. В современных рыночных условиях инвестор и в его лице в ряде случаев заказчик зачастую сам отвечает за рентабельность своих проектов и таким образом является наиболее заинтересованным лицом в адекватной оценке. Поэтому для них вопрос наиболее быстрой и точной оценки затрат строительства объекта можно считать главным [3, 4]. Он, с одной стороны, повлияет на показатели эффективности реализации проекта, а с другой стороны, позволит обеспечить «справедливое» формирование первоначальной стоимости ОПФ ОНК.

Табл. 1. Сравнение плановых и фактических показателей стоимости и сроков строительства реализованных объектов нефтегазового комплекса (составлена авторами)
Table 1. Comparison of planned and actual cost and construction period of built oil and gas facilities (compiled by the authors)

Объект строительства (условное обозначение) Construction facility (identification code)	Вид объекта строительства Type of construction facility	Стоимость объекта строительства, тыс. руб. Cost of construction facility, thous. rubles		Отклонение, тыс. руб./% Deviation, thous. rubles/%	Срок реализации, мес. Implementation period, months		Отклонение, мес. Deviation, months
		Плановая Planned	Фактическая Actual		План Planned	Факт Actual	
Объект №1 Нефтегазовой инфраструктуры Facility 1 of oil and gas infrastructure	Надземное площадное строительство (Компрессорная станция) Aboveground site construction (Compressor station)	5,751,378	7,879,388	2,128,010/37	12	18	6
Объект №2 Нефтегазовой инфраструктуры Facility 2 of oil and gas infrastructure	Надземное площадное строительство (Завод по переработке газа) Aboveground construction (Gas processing plant)	8,617,706	12,754,206	4,136,500/48	18	23	5
Объект инженерных сетей № 1 Utility networks facility No. 1	Надземное строительство (Станция водоподготовки) Aboveground construction (Water treatment plant)	132,699	165,874	33,175/25	10	14	4
Объект инженерных сетей № 2 Utility network facility No. 2	Надземное строительство (Станция по очистке сточных вод) Aboveground construction (Waste water treatment plant)	104,829	122,650	17,821/17	9	15	6

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Нефтегазовое строительство традиционно относят к одному из видов промышленного строительства, тем не менее есть ряд особенностей, которые отличают его от промышленного строительства, среди которых рассредоточенность объектов нефтегазового строительства, их большая протяженность, особые условия пожароопасности и взрывоопасности

работы объектов нефтегазового промысла, необходимость учета суровых климатических условий Крайнего Севера, а также требования к созданию на таких территориях социальной инфраструктуры [5, 6] и др. Особенности проектирования и строительства ОНК позволяют выделить факторы, оказывающие влияние на реализацию и управление такими проектами (табл. 2).

Табл. 2. Классификация факторов, влияющих на управление проектами по строительству объектов нефтегазового комплекса [7–9]

Table 2. Classification of factors affecting the management of projects on construction of oil and gas facilities [7–9]

Группа факторов Group of factors	Факторы Factors	Управляемость Manageability		Характер влияния Nature of influence	
		Управляемые Manageable	Неуправляемые Unmanageable	Значимые Significant	Менее значимые Less significant
Внешние External	Условия мировой и политической экономической среды The global and political economic environment				
	Влияние мирового и внутристранового рынка Influence of global and domestic markets				
	Влияние международных договоренностей и соглашений Influence of international treaties and agreements				
	Влияние задач государственного управления в данной сфере Influence of the state management tasks in this sector				
	Влияние природных условий и состояния ресурсной базы Influence of natural conditions and the resource potential				
	Влияние технологий и инноваций Influence of technologies and innovations				
	Развитие направлений, связанных с охраной экологии и окружающей среды Development of environmental protection				
	Развитие энергосберегающих технологий и тенденции к устойчивому развитию Development of energy-saving technologies and trends towards sustainable development				
Внутренние Internal	Разработанность законодательной базы в сфере регулирования инвестиционно-строительных отношений Maturity of the regulatory framework governing investment and construction relations				
	Разработанность нормативной базы, регламентирующей подходы к расчету стоимости строительства объекта Maturity of the regulatory framework governing approaches to calculating the cost of construction				
	Выбор размещения объекта Choice of facility location				

Окончание табл. 2 / End of the Table 2

Группа факторов Group of factors	Факторы Factors	Управляемость Manageability		Характер влияния Nature of influence	
		Управляемые Manageable	Неуправляемые Unmanageable	Значимые Significant	Менее значимые Less significant
Внутренние Internal	Подход к формированию проектного решения Approach to developing project design solutions				
	Подход к расчету стоимости строительства объекта Approach to construction cost analysis				
	Степень развитости механизма договорных отношений Maturity of the mechanism governing contractual relations				
	Механизмы закрепления ответственности и обязательств участников проекта Assurance of liabilities and obligations of project parties				
	Подходы к управлению инвестиционно-строительным проектом Approaches to investment and construction project management				
	Механизмы и подходы к оценке рисков проекта Mechanisms and approaches to project risk assessment				

В первую очередь, все факторы, способные оказать влияние на процесс управления проектами по строительству ОНК, разделены на внешние и внутренние. С точки зрения управляемости получено, что подавляющее большинство представленных в табл. 2 факторов (82,35 %) поддаются управленческим воздействиям на разных уровнях управления, в то время как 17,65 % факторов из приведенного перечня мало управляемы. С позиции характера влияния в качестве значимых факторов определено 70,6 % факторов из списка табл. 2, менее значимыми оказались 5 из 17 факторов или 29,4 %.

Для успешного осуществления проектов по строительству нефтегазовых объектов, достижения запланированных показателей по проекту необходима система управления, учитывающая специфику строительства данных объектов, а также влияние выделенных факторов, что влияет на формирование первоначальной стоимости ОПФ нефтегазового комплекса.

Проведенная классификация факторов, влияющих на управление проектами по строительству объектов нефтегазового комплекса, позволяет выявить их значимость и характер влияния на рассматриваемый процесс.

Ряд из перечисленных факторов предлагается учитывать в процессе формирования стоимости строительства ОНК (которые в дальнейшем в случае участия в процессе производства можно рассматривать как ОПФ), под которой понимается определение всех затрат, необходимых для его успешной реализации (и которую, за исключением НДС, можно считать первоначальной стоимостью основных фондов). Существуют мнения (А.В. Полковников, М.Ф. Дубовик и др.), что любая оценка стоимости проекта всегда будет приблизительной и ее следует рассматривать как «итеративный процесс получения примерных данных о стоимости работ и ресурсов», но вместе с тем указанные авторы приводят оговорку, что характеристика «приблизительная» употребляется в смысле «близкая», так как в ходе реализации проекта оценка может уточняться и становиться более «реальной».

Стоимость и ее определение относится к числу фундаментальных проблем экономической науки, которую начал развивать еще Аристотель, заявляя, что «нужно, чтобы все измерялось чем-то одним... потребностью, которая для всего является связующей основой...»⁵.

⁵ Аникин А.В. Юность науки. Жизнь и идеи мыслителей-экономистов до Маркса. М. : Политическая литература, 1971. 413 с.

В дальнейшем с развитием в экономической науке теории стоимости обосновывались цели и мотивы деятельности экономических субъектов, варианты распределения ресурсов и функционирования процессов рыночного обмена. Меркантилисты в XVI–XVII вв. (Т. Ман, А. Монкретьен де Ваттевилль, Г. Скаруффи, Д. Юм и др.) утверждали, что богатство порождается обменом, а физиократ Ф. Кенэ чуть позднее, в XVIII в., в противовес им заявлял, что эффективные методы обогащения связаны не с обменом, а с материальным производством, причем производительным будет такой труд, который создает прибавочную стоимость. Однако все же первым весомым вкладом в разработку теории стоимости считаются идеи «английской классической политической экономии», представителями которой являются У. Петти, А. Смит, Д. Рикардо [10].

У. Петти утверждал, что стоимость товара измеряется рабочим временем, затраченным на его производство. Уточняя теорию У. Петти, представитель классической буржуазной политической экономии Франции Пьер Лепезан де Буагильбер говорил о том, что «истинная стоимость» товара устанавливается трудом, а мерой стоимости служит рабочее время. Основоположник классической политической экономии А. Смит определял стоимость затраченным на производство товара трудом, и обмен товаров связывал с заключенным в них количеством труда, так как, по его мнению, если отвлечься от потребительских свойств товаров, то у них останется только одно общее свойство: они — продукты человеческого труда [10]. Поддерживая трудовую теорию стоимости А. Смита, Д. Рикардо писал, что «на стоимость товаров влияет не только труд, применяемый непосредственно к ним, но и труд, затраченный на орудия, инструменты и здания, способствующие этому труду»⁶. В дальнейшем идеи А. Смита и Д. Рикардо получили развитие в теории немецкого экономиста и философа К. Маркса. Теория стоимости и по сей день проходит свое эволюционное развитие и является предметом изучения многих исследователей. Однако фундаментальное утверждение, что стоимость товара определяется затратами на его производство, актуально и в современности, в том числе и для рассматриваемого в работе процесса установления стоимости строительства объектов нефтегазового комплекса. И здесь же заметим, что под первоначальной стоимостью ОПФ в экономической литературе принято понимать совокупность всех возможных затрат, которые были осуществлены для их (основных производственных фондов) получения. Рассматривая ОНК, которые участвуют в процессе

производства, целесообразно также обратиться к выявлению первоначальной стоимости таких объектов, складывающейся из стоимости приобретенного оборудования, монтажных работ, затрат на транспортировку и прочих затрат. Однако, поскольку речь идет именно о строительстве таких объектов, то определение их стоимости, на наш взгляд, стоит рассмотреть и с позиций ценообразования в строительстве.

Существующая в РФ система ценообразования в строительстве базируется на сметном нормировании, используя в качестве главных методов ресурсный, базисно-индексный, ресурсно-индексный, а также оценку исходя из укрупненных сметных нормативов, в том числе банка данных о стоимости объектов-аналогов⁷. На основе Письма Госстроя РФ от 29.12.1993 № 12-349 для оценки стоимости строительства инвесторами рекомендуется разрабатывать инвесторскую смету, которая содержит данные о полной стоимости строительства и необходима для предварительной оценки заказчиком стоимости возведения объекта, ее целесообразно использовать при выборе подрядчика и формировании с ним договорных отношений. Для расчета инвесторской сметы также используются перечисленные методы. Стоит заметить, что для участников проектов по строительству объектов с частным финансированием методические рекомендации по определению сметной стоимости строительства объекта носят рекомендательный характер. На этапе обоснования инвестиций, когда проектной документации еще не существует (предпроектная стадия) и информация по объекту носит довольно ограниченный характер, применение сметного подхода к оценке стоимости строительства затруднительно, поэтому перед участниками проектов возникает довольно сложная задача в быстрой, но в то же время точной оценке планируемой стоимости строительства объекта, которая позволит в дальнейшем при реализации проекта избежать дополнительных финансовых вложений, пересмотра договорных отношений в силу изменения цены контракта и срыва сроков строительства [8, 11]. Подходы к ценообразованию строительства объектов на предпроектной стадии еще не получили однозначной оценки и широкого применения, как это сложилось с подходами к установлению сметной стоимости строительства объекта, поэтому авторы в попытке решения данной проблемной области предлагают новые методики по определению стоимости строительства объектов на предпроектной стадии и разрабатывают новые механизмы, связанные с процессом ее определения [12–15], которые, в конечном счете, можно считать

⁶ История экономических учений : учеб. пособие / под ред. В.А. Жамина, Е.Г. Василевского. М. : Изд-во МГУ, 1989. Ч. I. 368 с.

⁷ Методика определения сметной стоимости строительства, реконструкции, капитального ремонта, сноса объектов капитального строительства, работ по сохранению объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации на территории Российской Федерации : утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 04.08.2020 № 421/пр. 116 с.

инновационными в виду соблюдения ими свойств новизны, применимости, наличия преимуществ по сравнению с традиционными решениями, с одной стороны, и совместимости со сложившейся практикой ценообразования на предпроектной стадии, с другой. Как известно, Й. Шумпетер трактовал инновации как изменение, произошедшее в связи с появлением нового решения или усовершенствования существующего.

Рассматривая вопросы оценки стоимости строительства объектов на предпроектной стадии, некоторые авторы (В.Н. Гнибидин, В.Н. Рахматуллин, Р.А. Исмаков, Л.И. Ванчухина, Т.Б. Лейберт, Э.А. Халикова, Ю.Г. Матвеева, В.Г. Рахматуллина) предлагают разрабатывать и в дальнейшем использовать укрупненную систему показателей объектов и соответствующих расценок [16]. Новизна подхода заключается в формировании ресурсно-технологической модели (РТМ) (этап 3 алгоритма расчета, представленного на рис. 2).

По мнению А. Гореловой, «оптимизация затрат на начальных этапах проектирования систем газификации требует оценивать капитальные вложения с помощью укрупненных показателей, учитывающих риски, обусловленные неопределенностью экономических нормативов и других данных в будущем» [17]. Предлагаемый автором подход представляет собой

сметную модель расчетов стоимости объектов газификации на этапе обоснования инвестиций, включающую все элементы затрат, однако новизной в этом подходе служит учет неопределенности исходной информации.

Инновационным в своей области является ресурсно-ранжирный метод оценки, разработанный в ПАО «Газпром», в основе которого лежит принцип отсекающего ряда мелких позиций, практически не влияющих на стоимость строительства объекта, что в значительной степени позволяет сократить время и объем расчетов. Общий алгоритм формирования стоимости ресурсно-ранжирным методом ПАО «Газпром» представлен на рис. 3.

Особенность предлагаемого ПАО «Газпром» метода заключается в том, что он применим не только на предпроектной стадии, однако, чем более ранняя стадия рассматривается, тем менее точным будет расчет. Специалисты, использующие этот метод, уверяют, что даже на самых ранних стадиях метод расчета зарекомендовал себя как достаточно точный «в пределах допустимой точности счета» [18].

В зарубежной практике также нет жесткой регламентации применяемых методик и нормативов для определения цены строительства объектов частного финансирования, и распространена практика создания интегрированных баз данных по проектам-

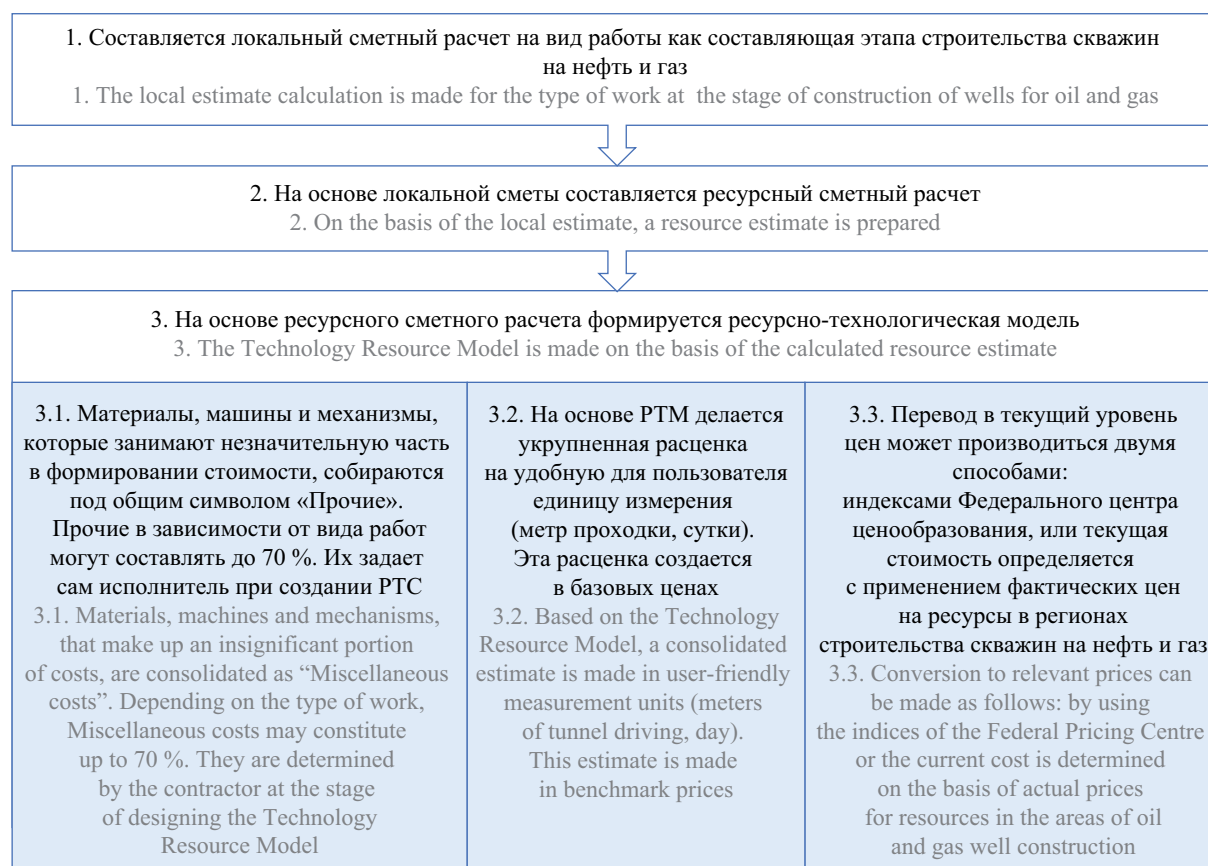


Рис. 2. Алгоритм расчета укрупненных показателей стоимости строительства скважин на нефть и газ [16]

Fig. 2. Algorithm for calculating consolidated indicators of the cost of construction of oil and gas wells [16]

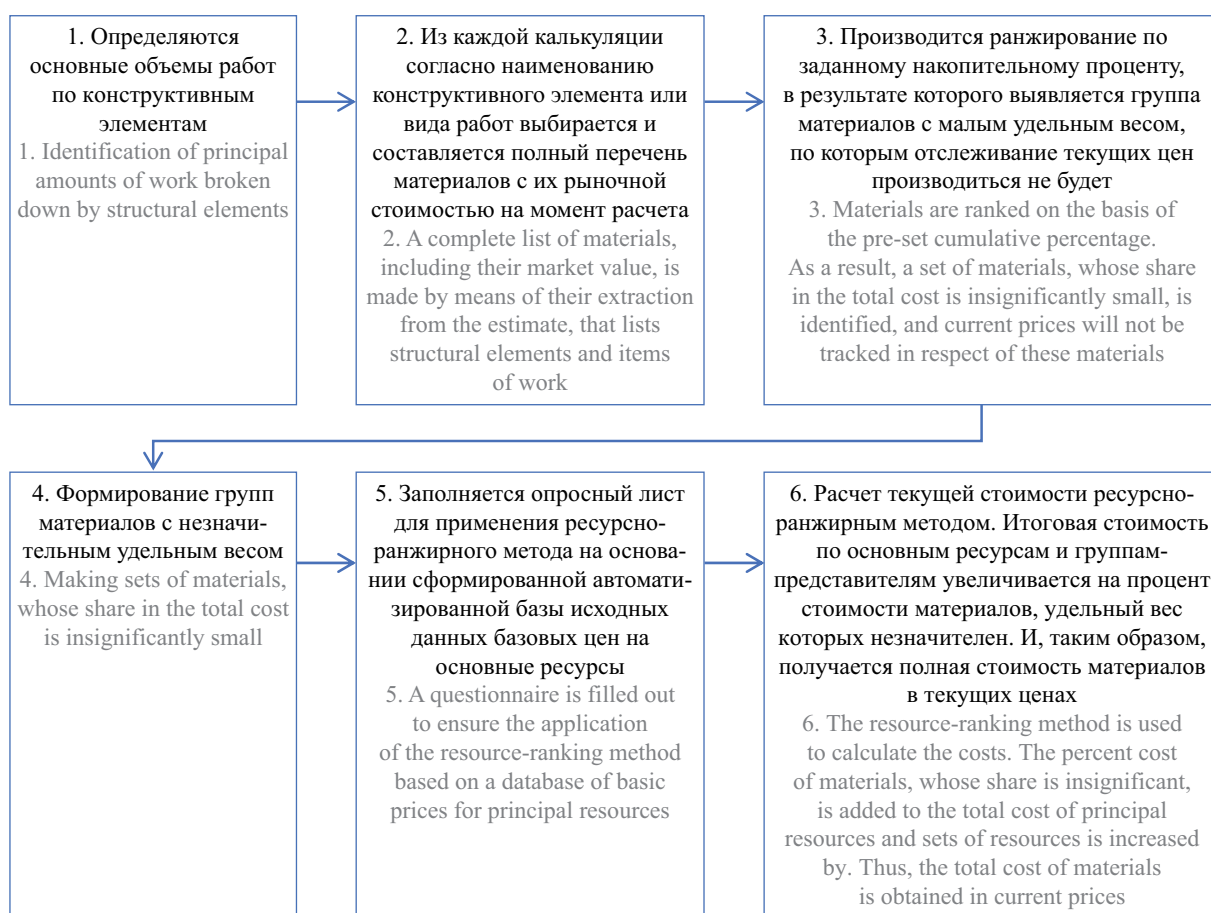


Рис. 3. Этапы формирования стоимости материалов в соответствии с ресурсно-ранжирным методом ПАО «Газпром» [18]

Fig. 3. Stages of formation of the cost of materials in accordance with the resource-ranking method developed by PJSC Gazprom [18]

аналогам, позволяющих получать актуальную информацию и более реалистично планировать стоимость и сроки строительства объекта [19, 20]. Если обращаться к нормативному регулированию вопроса определения стоимости строительства объекта на предпроектной стадии, то стоит обратить внимание на действующую в нашей стране Методику разработки и применения укрупненных нормативов цены строительства (НЦС)⁸, согласно которой оценка стоимости строительства объекта на предпроектной стадии должна выполняться с использованием НЦС. По состоянию на 1 января 2021 г. показатели НЦС-2021 сгруппированы в 21 сборник по объектам капитального строительства, однако для объектов нефтегазового строительства НЦС не разработаны.

Таким образом, вопрос совершенствования методического подхода к определению стоимости строительства ОНК на предпроектной стадии является актуальным и дискуссионным.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исходя из положения, что значительная часть существующих методических подходов для определения стоимости строительства объектов на предпроектной стадии предлагает использовать информацию об объектах-аналогах и рассчитанные на их основе укрупненные показатели оценки стоимости, рассмотрим возможность применения данного подхода и для выявления стоимости строительства ОНК. Необходимо заметить, что для формирования укрупненного стоимостнообразующего параметра объекта, который можно в дальнейшем взять в расчет, требуется значительная информационная база по уже реализованным объектам из рассматриваемой сферы. Кроме того, ОНК целесообразно классифицировать на объекты линейного и площадочного характера, так как укрупненные параметры и характеристики, используемые для определения стоимости, для объектов разного назначения будут различны.

⁸ Методика разработки и применения укрупненных нормативов цены строительства, а также порядка их утверждения : утв. приказом Минстроя России от 29.05.2019 № 314/пр.

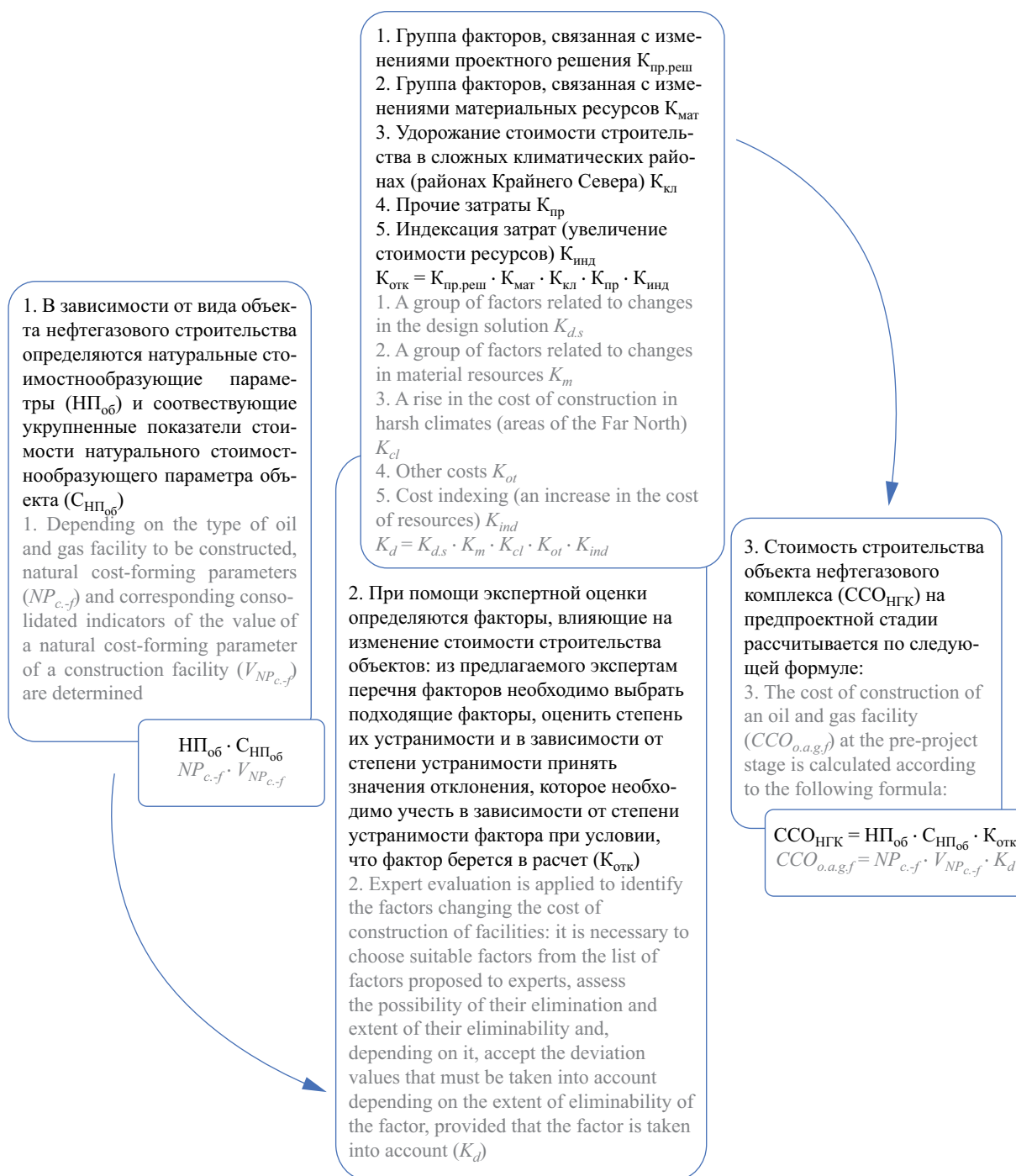


Рис. 4. Порядок определения стоимости строительства объектов нефтегазового комплекса на предпроектной стадии (составлен авторами)

Fig. 4. The procedure for determining the cost of construction of oil and gas facilities at the pre-project stage (compiled by the authors)

Основываясь на Методике разработки и применения укрупненных НЦС, процесс установления стоимости строительства ОНК на предпроектной стадии в общем виде выстроим следующим образом (рис. 4).

Отметим, что для предлагаемого на рис. 4 порядка расчета есть ограничения: такой расчет целесообразно проводить для объектов, финансируемых

за счет частных инвесторов, и для объектов выделенных категорий, для которых имеется база данных по натуральным стоимостнообразующим параметрам и укрупненным значениям их стоимости. В остальном подход может быть применим на предпроектной стадии для определения стоимости строительства ОНК различной сложности, масштаба и состава.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

В качестве методического обоснования представленного порядка установления стоимости строительства ОНК на предпроектной стадии рассматривается соблюдение логической целостности и взаимодействие на основе причинно-следственной связи компонентов, отраженных на рис. 4, определяющих и оказывающих влияние на изменение планируемой стоимости строительства ОНК.

По мнению авторов, разработанный подход повысит эффективность реализации проектов в нефтегазовом комплексе, так как позволяет учесть в процессе определения стоимости строительства объекта значительное количество факторов, влияющих на управление проектами по строительству ОНК (рассмотренных выше в табл. 2). Это, в свою очередь, даст возможность достичь точности и оперативности в оценке стоимости строительства объектов на предпроектной стадии, следовательно, повысит точность формирования первоначальной стоимости основных производственных фондов предприятий нефтегазового комплекса после ввода рассматриваемых объектов строительства в эксплуатацию.

Таким образом, в настоящем исследовании выделены факторы, влияющие на управление проектами

по строительству ОНК, а также рассмотрены инновационные подходы к определению стоимости строительства объектов нефтегазового комплекса на предпроектной стадии. Изучение российского и зарубежного опыта в вопросах выявления стоимости строительства объектов на предпроектной стадии показало, что существующие методические подходы в основу такой оценки предлагают закладывать механизм определения стоимости по объектам-аналогам. В этой связи предложен авторский подход к формированию стоимости строительства ОНК на предпроектной стадии, в основе которого заложен механизм определения стоимости по объектам-аналогам с учетом укрупненных нормативов затрат на строительство этих объектов, который также учитывает совокупность факторов, влияющих на изменение стоимости строительства ОНК. Предложенный инновационный подход к процессу формирования стоимости строительства ОНК на предпроектной стадии оказывает непосредственное влияние на определение первоначальной стоимости ОПФ предприятий исследуемого комплекса в случае, если рассматриваемые объекты планируются к участию в производственном процессе после ввода в эксплуатацию.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Фадеев А.М.* Стратегическое управление нефтегазовым комплексом при освоении углеводородного ресурсного потенциала Арктики : дис. ... д-ра экон. наук. М., 2018. 435 с.
2. *Holodkova V., Ryabkin Yu., Kostyshak M., Tchaikovsky A.* Application of innovative materials in the construction of oil and gas processing facilities // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 217. P. 01013. DOI: 10.1051/e3sconf/202021701013
3. *Shah F.A., Odhano N., Kaliannan S.* Performance and management of cost in the construction industry // Civil Engineering Journal. 2020. Vol. 6. Issue 7. Pp. 1368–1374. DOI: 10.28991/cej-2020-03091554
4. *Bozgulova N., Parmanova R., Abenova M., Ivanyuk T., Aryshev V.* Calculation methods for cost management in the construction industry // Entrepreneurship and Sustainability Issues. 2019. Vol. 7. Issue 2. Pp. 1450–1461. DOI: 10.9770/jesi.2019.7.2(46)
5. *Тухарели В.Д., Тухарели А.В., Очиров Н.Д.* Особенности организации строительства объектов нефтегазовой отрасли // Инженерный вестник Дона. 2018. № 3 (50). С. 105.
6. *Vorobeva Yu.A., Drapalyuk N.A., Burak E.E., Zherlykina M.N., Isanova A.V.* Assessment of the importance of environmental aspects in the construction of oil and gas facilities // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 723. Issue 5. P. 052004. DOI: 10.1088/1755-1315/723/5/052004
7. *Пельменева А.А.* Факторы, влияющие на экономику нефтегазового комплекса // Актуальные проблемы развития нефтегазового комплекса России : сб. тезисов. 2018. С. 437–438.
8. *Прохорова Ю.С.* Организационно-экономический механизм управления стоимостью строительства объекта в условиях государственного инвестирования : дис. ... канд. экон. наук. М., 2020. 231 с.
9. *Chepachenko N.V., Leontiev A.A., Uraev G.A., Polovnikova N.A.* Features of the factor models for the corporate cost management purposes in construction // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 913. Issue 4. P. 042075. DOI: 10.1088/1757-899x/913/4/042075
10. *Духнова А.Д., Трясучкина О.В.* Эволюция теории стоимости // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2011. № 1 (1). С. 42–49.
11. *Федоров М.В.* Взаимоотношения участников инвестиционно-строительного проекта // Инновации и инвестиции. 2018. № 4. С. 42–47.
12. *Оборин М.С.* Инновации как фактор развития строительства // Экономика строительства и природопользования. 2020. № 1 (74). С. 56–63. DOI: 10.37279/2519-4453-2020-1-56-63
13. *Karakozova I., Pavlov A.* Requirements for the data transfer during the examination of design docu-

mentation//MATEC Web of Conferences. 2017. Vol. 106. P. 08046. DOI: 10.1051/mateconf/201710608046

14. Vasilyeva E., Krupnov Yu. Development of the methodological approach to the comprehensive assessment of the innovative project effectiveness // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 164. P. 10037. DOI: 10.1051/e3sconf/202016410037

15. Maksimov Y., Skudar O., Yanina I., Pashkevich L., Sandler I., Ulyaschenko V. Cost reengineering // SPE Russian Petroleum Technology Conference. 2018. DOI: 10.2118/191648-18rptc-ms

16. Гнибидин В.Н., Рахматуллин В.Р., Исмаков Р.А., Ванчухина Л.И., Лейберт Т.Б., Халикова Э.А. и др. Совершенствование методических подходов расчета сметной стоимости строительства скважин на нефть и газ на основе ресурсного метода // Территория нефтегаз. 2012. № 4. С. 66–71.

17. Горелова А.В. Совершенствование методов формирования и оценки стоимости линейно-протя-

женных объектов недвижимости газификации на ранних стадиях инвестиционно-строительного процесса : автореф. дис. канд. наук. М., 2015. 25 с.

18. Ржевская Т.В., Петрова П.А. Методы определения стоимости строительства на предпроектной стадии: международный опыт // Вестник государственной экспертизы. 2020. № 2.

19. Kotelnikov N.V., Urazova N.G., Oparina T. Evaluation of the effectiveness of innovative solutions in the construction of oil and gas wells // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 751. Issue 1. P. 012076. DOI: 10.1088/1755-1315/751/1/012076

20. Le T., Hassan F., Le K., Jeong H.D. Understanding dynamic data interaction between civil integrated management technologies: a review of use cases and enabling techniques // International Journal of Construction Management. 2019. DOI: 10.1080/15623599.2019.1678863

Поступила в редакцию 22 июня 2022 г.

Принята в доработанном виде 15 июля 2022 г.

Одобрена для публикации 21 июля 2022 г.

ОБ АВТОРАХ: 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, ResearcherID: ABI-2788-2020, ORCID: 0000-0002-5995-8585; leram86@mail.ru;

Александр Владимирович Белоконов — аспирант кафедры менеджмента и инноваций; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 1109658, ORCID:0000-0003-1050-3480; mr.alexbelokonov@mail.ru.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Fadeev A.M. *Strategic Management of the Oil and Gas Complex in the Development of the Hydrocarbon Resource Potential of the Arctic : dissertation for the degree of Doctor of Economics*. Moscow, 2018; 435. (rus.).

2. Holodkova V., Ryabkin Yu., Kostyshak M., Tchaikovsky A. Application of innovative materials in the construction of oil and gas processing facilities. *E3S Web of Conferences*. 2020; 217:01013. DOI: 10.1051/e3sconf/202021701013

3. Shah F.A., Odhano N., Kaliannan S. Performance and management of cost in the construction industry. *Civil Engineering Journal*. 2020; 6(7):1368-1374. DOI: 10.28991/cej-2020-03091554

4. Bozgulova N., Parmanova R., Abenova M., Ivanyuk T., Aryshev V. Calculation methods for cost management in the construction industry. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*. 2019; 7(2):1450-1461. DOI: 10.9770/jesi.2019.7.2(46)

5. Tukhareli V.D., Tukhareli A.V., Ochirov N.D. Features of the organization of construction of objects oil and gas industry. *Engineering journal of Don*. 2018; 3(50):105. (rus.).

6. Vorobeva Yu.A., Drapalyuk N.A., Burak E.E., Zherlykina M.N., Isanova A.V. Assessment of the importance of environmental aspects in the construction of oil and gas facilities. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021; 723(5):052004. DOI: 10.1088/1755-1315/723/5/052004

7. Pelmeneva A.A. Factors influencing the economy of the oil and gas complex. *Actual problems of the development of the oil and gas complex of Russia : collection of abstracts*. 2018; 437-438. (rus.).

8. Prokhorova Yu.S. *Organizational and economic mechanism for managing the cost of construction of an object in conditions of state investment : dissertation for the degree of Candidate of Sciences*. Moscow, 2020; 231. (rus.).

9. Chepachenko N.V., Leontiev A.A., Uraev G.A., Polovnikova N.A. Features of the factor models for the corporate cost management purposes in construction. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020; 913(4):042075. DOI: 10.1088/1757-899x/913/4/042075
10. Dukhnova A.D., Tryasuchkina O.V. Evolution of the theory of value. *Models, Systems, Networks in Economics, Technology, Nature and Society*. 2011; 1(1):42-49. (rus.).
11. Fedorov M.V. The relationship of the participants of the investment and construction project. *Innovation and Investment*. 2018; 4:42-47. (rus.).
12. Oborin M.S. Innovation as a factor in the development of construction. *Economics of Construction and Environmental Management*. 2020; 1(74):56-63. DOI: 10.37279/2519-4453-2020-1-56-63 (rus.).
13. Karakozova I., Pavlov A. Requirements for the data transfer during the examination of design documentation. *MATEC Web of Conferences*. 2017; 106:08046. DOI: 10.1051/mateconf/201710608046
14. Vasilyeva E., Krupnov Yu. Development of the methodological approach to the comprehensive assessment of the innovative project effectiveness. *E3S Web of Conferences*. 2020; 164:10037. DOI: 10.1051/e3sconf/202016410037
15. Maksimov Y., Skudar O., Yanina I., Pashkevich L., Sandler I., Ulyaschenko V. Cost reengineering. *SPE Russian Petroleum Technology Conference*. 2018. DOI: 10.2118/191648-18rptc-ms
16. Gnibidin V.N., Rakhmatullin V.N., Ismakov R.A., Vanchukhina L.I., Leibert T.B., Khalikova E.A. et al. Improvement of methodological approaches for calculating the estimated cost of construction of oil and gas wells based on the resource method. *Oil and Gas Territory*. 2012; 466-71. (rus.).
17. Gorelova A.V. *Improvement of methods of formation and estimation of the cost of linear-extended real estate gasification at the early stages of the investment and construction process : abstract for the degree of Candidate of Sciences*. Moscow, 2015; 25. (rus.).
18. Rzhetskaya T.V., Petrova P.A. Methods of determining the cost of construction at the pre-project stage: international experience. *Bulletin of the State Expertise*. 2020; 2. (rus.).
19. Kotelnikov N.V., Urazova N.G., Oparina T. Evaluation of the effectiveness of innovative solutions in the construction of oil and gas wells. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021; 751(1):012076. DOI: 10.1088/1755-1315/751/1/012076
20. Le T., Hassan F., Le K., Jeong H.D. Understanding dynamic data interaction between civil integrated management technologies: a review of use cases and enabling techniques. *International Journal of Construction Management*. 2019. DOI: 10.1080/15623599.2019.1678863

Received June 22, 2022.

Adopted in revised form on July 15, 2022.

Approved for publication on July 21, 2022.

B I O N O T E S : **Valeriya V. Glazkova** — Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Management and Innovation; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 888163, ResearcherID: ABI-2788-2020, ORCID: 0000-0002-5995-8585; leram86@mail.ru;

Alexander V. Belokonov — postgraduate student of the Department of Management and Innovation; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 1109658, ORCID:0000-0003-1050-3480; mr.alexbelokonov@mail.ru.

*Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.
The authors declare that there is no conflict of interest.*

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ НАУЧНОЙ СТАТЬИ

Текст статьи набирается в файлах в формате .docx.

СТРУКТУРА НАУЧНОЙ СТАТЬИ

Научная статья должна состоять из следующих структурных элементов: заголовок, список авторов, аннотация, ключевые слова, основной текст, сведения об авторах, список источников.

Заголовок, список авторов, аннотация, ключевые слова, список источников указываются последовательно на русском и английском языках.

Заголовок к статье должен соответствовать основному содержанию статьи. Заголовок статьи должен кратко (не более 10 слов) и точно отражать объект, цель и новизну, результаты проведенного научного исследования. Он должен быть информативным и отражать уникальность научного творчества автора.

Список авторов в краткой форме отражает всех авторов статьи и указывается в следующем формате:

Имя Отчество Фамилия¹, Имя Отчество Фамилия²

¹ Место работы первого автора; город, страна

² Место работы второго автора; город, страна

**если авторов не более четырех, то необходимо указывать полные ФИО, от пяти авторов и более – допустимо использовать инициал*

АННОТАЦИЯ

Основной принцип создания аннотации — информативность. Объем аннотации — от 200 до 250 слов.

Структура и содержание аннотации должны соответствовать структуре и содержанию основного текста статьи.

Аннотация к статье должна представлять краткую характеристику научной статьи. Задача аннотации — дать возможность читателю установить ее основное содержание, определить ее релевантность и решить, следует ли обращаться к полному тексту статьи.

Четкое структурирование аннотации позволяет не упустить основные элементы статьи. Структура аннотации аналогична структуре научной статьи и содержит следующие основные разделы:

- **Введение** — содержит описание предмета, целей и задач исследования, актуальность.
- **Материалы и методы** (или методология проведения работы) — описание использованных в исследовании информационных материалов, научных методов или методики проведения исследования
- **Результаты** — приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, обнаруженные взаимосвязи и закономерности. Предпочтение отдается новым результатам и выводам, которые, по мнению автора, имеют практическое значение.
- **Выводы** — четкое изложение выводов, которые могут сопровождаться рекомендациями, оценками, предложениями, описанными в статье.
- **Ключевые слова** — перечисляются через запятую, количество — от 7 до 10 слов.

Благодарности. Краткое выражение благодарности персонам и/или организациям, которые оказали помощь в выполнении исследования или высказывали критические замечания в адрес вашей статьи. Также в разделе указывается источники финансирования исследования от организаций и фондов организациям и фондам, т.е. за счет каких грантов, контрактов, стипендий удалось провести исследование. Раздел приводится при необходимости.

Аннотация не должна содержать:

- избыточных вводных фраз («Автор статьи рассматривает...», «В данной статье...» и т.д.);
- абстрактного указания на время написания статьи («В настоящее время...», «На данный момент...», «На сегодняшний день...» и т.д.);
- общего описания;
- цитат, таблиц, диаграмм, аббревиатур;
- ссылок на источники литературы;
- информацию, которой нет в статье.

Англоязычная аннотация пишется по тем же правилам. Отметим, что английская аннотация не обязательно должна быть точным переводом русской.

Следует обращать особое внимание на корректность употребления терминов. Избегайте употребления терминов, являющихся прямой калькой русскоязычных. Необходимо соблюдать единство терминологии в пределах аннотации.

Ключевые слова – прообраз статьи в поисковых системах, те точки, по которым читатель может найти вашу статью и определить предметную область текста. Чтобы определить основные ключевые слова для статьи, рекомендуется представить, по каким поисковым запросам читатели могут искать вашу статью. Как правило, ключевые слова также могут включать основную терминологию.

ОСНОВНОЙ ТЕКСТ

Основной текст научной статьи, представляемой в журнал, должен быть оформлен в соответствии со стандартом IMRaD и включать следующие разделы:

- Введение;
- Материалы и методы;
- Результаты исследования;
- Заключение и обсуждение.

РИСУНКИ И ТАБЛИЦЫ

Рисунки и таблицы следует вставлять в текст статьи сразу после того абзаца, в котором рисунок впервые упоминается. Рисунки и таблицы должны быть оригинальными (либо с указанием источника), хорошего качества (не менее 300 dpi). Оригиналы рисунков предоставляются в файлах формата .jpg, .tiff (название файла должны соответствовать порядковому номеру рисунка в тексте). Размер шрифта должен соответствовать размеру шрифта основного текста статьи. Линии обязательно не тоньше 0,25 пунктов.

Заголовки таблиц и рисунков выравниваются по левому краю. Заголовок таблицы располагается над ней, начинаясь с сокращения «Табл.» и порядкового номера таблицы, подпись к рисунку располагается под ним, начинаясь с сокращения «Рис.» и порядкового номера. Рисунки и таблицы позиционируются по центру страницы.

Подрисуночные подписи и названия таблиц размещаются на русском и английском языках, каждый на новой строке с выравниванием по левому краю.

Образец:

Рис. 1. Пример рисунка в статье

Figure 1. Example of article image

Табл. 1. Пример таблицы в статье

Table 1. Example of table for article

ФОРМУЛЫ

Формулы должны быть набраны в редакторе формул MathType версии 6 или выше.

Цифры, греческие, готические и кириллические буквы набираются прямым шрифтом; латинские буквы для обозначения различных физических величин (A , F , b и т.п.) — курсивом; наименования тригонометрических функций, сокращенные наименования математических понятий на латинице (max, div, log и т.п.) — прямым; векторы (\mathbf{a} , \mathbf{b} и т.п.) — жирным курсивом; символы химических элементов на латинице (Cl, Mg) — прямым.

Запись формулы выполняется автором с использованием всех возможных способов упрощения и не должна содержать промежуточные преобразования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Список источников составляется в порядке упоминания в тексте. Порядковый номер источника в тексте (ссылка) заключается в квадратные скобки. Текст статьи должен содержать ссылки на все источники из списка 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 желательно раскрыть перспективы развития темы.

В данном разделе не приводят ссылки на источники.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ (REFERENCES)

Оформляется на русском и английском языках.

Расположение источников в списке – в строгом соответствии с порядком упоминания в тексте статьи.

Библиографическое описание документов (в том числе и электронных) на русском языке оформляется в соответствии с требованиями ГОСТа Р 7.0.5–2008.

Библиографическое описание документов (в том числе и электронных) на английском языке оформляется в стиле «Ванкувер».

Русскоязычные источники необходимо приводить в официальном варианте перевода (т.е. том, который размещен в самом издании; при наличии). Название города издания приводится полностью, в английском написании. Названия журналов и издательств приводятся либо официальные английские (если есть), либо транслитерированные. В конце описания источника в скобках указывается язык источника (rus.).

Для изданий следует указать фамилии авторов, журнал (электронный адрес), год издания, том (выпуск), номер, страницы, DOI или адрес доступа в сети Интернет. Интересующийся читатель должен иметь возможность найти указанный литературный источник в максимально сжатые сроки.

Если у статьи (издания) есть DOI, его обязательно указывают в библиографическом описании источника.

Важно правильно оформить ссылку на источник.

Пример оформления:

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Самарин О.Д. О расчете охлаждения наружных стен в аварийных режимах теплоснабжения // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2007. № 2. С. 46–50. URL: <http://izvuzstr.sibstrin.ru/uploads/publication/fulltext/2-2007.pdf> (дата обращения: 04.12.18).
2. Мусорина Т.А., Петриченко М.Р. Математическая модель 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.

Bionotes: **Имя, отчество, фамилия** (полностью) — ученая степень, ученое звание, должность, подразделение; **название организации** (обязательно приводить в полной и краткой официально установленной форме), в которой работает (учится) автор; почтовый адрес организации (в последовательности: офис, дом, улица, город, индекс, страна); адрес электронной почты;

Имя, отчество, фамилия (полностью) — ученая степень, ученое звание, должность, подразделение; **название организации** (обязательно приводить в полной и краткой официально установленной форме), в которой работает (учится) автор; почтовый адрес организации (в последовательности: офис, дом, улица, город, индекс, страна); адрес электронной почты.

ВНИМАНИЕ! Все названия, подписи и структурные элементы рисунков, графиков, схем, таблиц оформляются на русском и английском языках.

Вклад авторов:

Фамилия И.О. - описание личного вклада в написание статьи в краткой форме (идея, сбор материала, обработка материала, написание статьи, научное редактирование текста и т. д.).

Пример:

Артемяева С. С. – научное руководство; концепция исследования; развитие методологии; участие в разработке учебных программ и их реализации; написание исходного текста; итоговые выводы. Митрохин В. В. – участие в разработке учебных программ и их реализации; доработка текста; итоговые выводы.

После «Информации об авторах» приводят сведения об отсутствии или наличии конфликта интересов и детализацию такого конфликта в случае его наличия. Если в статье приводят данные о вкладе каждого автора, то сведения об отсутствии или наличии конфликта интересов указывают после них.

Пример:

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

	Форма № ПД-4					
<p>Извещение</p> <p>Кассир</p>	<p>УФК по г. Москве г. Москва (НИУ МГСУ, л/с 20736X29560) КПП 771601001</p> <p style="text-align: right;">(наименование получателя платежа)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">7 7 1 6 1 0 3 3 9 1</td> <td style="width: 50%;">0 3 2 1 4 6 4 3 0 0 0 0 0 0 0 1 7 3 0 0</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">(ИНН получателя платежа)</td> <td style="text-align: center;">(номер счета получателя платежа)</td> </tr> </table> <p>в <u>ГУ Банка России по ЦФО</u> БИК <u>0 0 4 5 2 5 9 8 8</u></p> <p style="text-align: center;">(наименование банка получателя платежа)</p> <p>КБК <u>0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 3 0</u></p> <p>ОКТМО <u>4 5 3 6 5 0 0 0</u></p> <p>Вестник МГСУ - 637.00 руб. х 6 экз. подписка на январь, февраль, март, апрель, май, июнь 2022 г.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 60%;"> <p>_____ (наименование платежа)</p> <p>Ф.И.О. _____</p> <p>плательщика _____</p> <p>Адрес _____</p> <p>плательщика _____</p> </div> <div style="width: 35%; text-align: right;"> <p>Вестник МГСУ</p> <p>_____ (номер лицевого счета (код) плательщика)</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div style="width: 60%;"> <p>Сумма _____</p> <p>платежа 3 822 руб. 00 коп. услуги _____ руб. _____ коп.</p> <p>Итого _____ руб. _____ коп. « _____ » _____ 20 _____ г.</p> <p>С условиями приема указанной в платежном документе суммы, в т.ч. с суммой взимаемой платы за услуги банка, ознакомлен и согласен.</p> </div> <div style="width: 35%; text-align: right;"> <p>Сумма _____</p> <p>платы _____</p> <p>за _____</p> </div> </div> <p style="text-align: right;">Подпись _____</p> <p style="text-align: right;">плательщика _____</p>	7 7 1 6 1 0 3 3 9 1	0 3 2 1 4 6 4 3 0 0 0 0 0 0 0 1 7 3 0 0	(ИНН получателя платежа)	(номер счета получателя платежа)	
	7 7 1 6 1 0 3 3 9 1	0 3 2 1 4 6 4 3 0 0 0 0 0 0 0 1 7 3 0 0				
	(ИНН получателя платежа)	(номер счета получателя платежа)				
	<p>Квитанция</p> <p>Кассир</p>	<p style="text-align: right;">Форма № ПД-4</p> <p>УФК по г. Москве г. Москва (НИУ МГСУ, л/с 20736X29560) КПП 771601001</p> <p style="text-align: right;">(наименование получателя платежа)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">7 7 1 6 1 0 3 3 9 1</td> <td style="width: 50%;">0 3 2 1 4 6 4 3 0 0 0 0 0 0 0 1 7 3 0 0</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">(ИНН получателя платежа)</td> <td style="text-align: center;">(номер счета получателя платежа)</td> </tr> </table> <p>в <u>ГУ Банка России по ЦФО</u> БИК <u>0 0 4 5 2 5 9 8 8</u></p> <p style="text-align: center;">(наименование банка получателя платежа)</p> <p>КБК <u>0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 3 0</u></p> <p>ОКТМО <u>4 5 3 6 5 0 0 0</u></p> <p>Вестник МГСУ - 637.00 руб. х 6 экз. подписка на январь, февраль, март, апрель, май, июнь 2022 г.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 60%;"> <p>_____ (наименование платежа)</p> <p>Ф.И.О. _____</p> <p>плательщика _____</p> <p>Адрес _____</p> <p>плательщика _____</p> </div> <div style="width: 35%; text-align: right;"> <p>Вестник МГСУ</p> <p>_____ (номер лицевого счета (код) плательщика)</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div style="width: 60%;"> <p>Сумма _____</p> <p>платежа 3 822 руб. 00 коп. услуги _____ руб. _____ коп.</p> <p>Итого _____ руб. _____ коп. « _____ » _____ 20 _____ г.</p> <p>С условиями приема указанной в платежном документе суммы, в т.ч. с суммой взимаемой платы за услуги банка, ознакомлен и согласен.</p> </div> <div style="width: 35%; text-align: right;"> <p>Сумма _____</p> <p>платы _____</p> <p>за _____</p> </div> </div> <p style="text-align: right;">Подпись _____</p> <p style="text-align: right;">плательщика _____</p>	7 7 1 6 1 0 3 3 9 1	0 3 2 1 4 6 4 3 0 0 0 0 0 0 0 1 7 3 0 0	(ИНН получателя платежа)	(номер счета получателя платежа)
		7 7 1 6 1 0 3 3 9 1	0 3 2 1 4 6 4 3 0 0 0 0 0 0 0 1 7 3 0 0			
		(ИНН получателя платежа)	(номер счета получателя платежа)			

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/>



