

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

ВЕСТНИК МГСУ

Научно-технический журнал
по строительству и архитектуре

Том 17 Выпуск 3/2022
Vol. Issue

VESTNIK MGSU

Monthly Journal on Construction
and Architecture

DOI: 10.22227/1997-0935.2022.3

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

ВЕСТНИК МГСУ

Научно-технический журнал по строительству и архитектуре

**Том 17. Выпуск 3
2022**

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

Сквозной номер 160

VESTNIK MGSU

Monthly Journal on Construction and Architecture

**Volume 17. Issue 3
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	25.03.2022.
Подписан в свет	28.03.2022.

Формат 60×84/8. Усл. печ. л. 15,36. Тираж 100 экз. (1-й завод 50 экз.). Заказ № 118

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

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

Анвер Идрисович Бурханов, д-р физ.-мат. наук, доц., зав. каф. физики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет», Волгоград, Российская Федерация

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

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

Йозеф Вичан, д-р, проф., Университет Жилина, Словацкая Республика

Забигнев Вуйчицки, д-р, проф., Вроцлавский технологический университет, Республика Польша

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

Милан Голицки, д-р, 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

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

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

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., проф. кафедры Технологии вяжущих веществ и бетонов, НИУ МГСУ, Москва, Российская Федерация

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

Редакция журнала

Выпускающий редактор: *Анна Александровна Дядичева*

Редактор: *Татьяна Владимировна Бердникова*

Перевод на английский язык: *Ольга Валерьевна Юденкова*

Корректор: *Любовь Владимировна Светличная*

Дизайн и верстка: *Алина Германовна Алейникова*

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., проф. каф. металлических и деревянных конструкций, проректор, НИУ МГСУ, Москва, Российская Федерация

Редакционный совет

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

Юрий Михайлович Баженов, акад. Российской академии архитектуры и строительных наук, д-р техн. наук, проф., зав. каф. технологии вяжущих веществ и бетонов, 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, директор, 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 выс-

шего 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., зав. каф. водоснабжения и водоотведения, НИУ МГСУ, Москва, Российская Федерация

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

Павел Александрович Хаванов, д-р техн. наук, проф., проф. каф. теплогазоснабжения и вентиляции, НИУ МГСУ, Москва, 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:	25.03.2022.

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

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

Anver I. Burkhanov, Volgograd State Technical University, Volgograd, 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

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:** *Lyubov' V. Svetlichnaya*

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

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

Chairman of the Editorial Board

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

Editorial Council

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

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

Yuri M. Bazhenov, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), 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

Pavel A. Havanov, 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

Yas'kova N. Yur'evna, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Moscow, Russian Federation

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

СОДЕРЖАНИЕ

АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ И РЕСТАВРАЦИЯ

Д.А. Ильичева

Трансформирование восприятия и требований к приморским городам, их насыщенности, архитектурному облику	275
--	-----

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

А.И. Гиясов, С.М. Мирзоев, К. Абдулрахман

Моделирование тепло-ветровых процессов пристенного слоя ограждающих конструкций зданий при инсоляции	285
--	-----

А.А. Липидус, Д.В. Топчий, И.С. Шевченко

Концепция разработки модели программы по научно-техническому сопровождению жизненного цикла уникальных зданий с большим заглублением	298
--	-----

Ю.А. Колотовичев, А.М. Шахраманьян

Автоматизированный мониторинг деформации несущих конструкций «Екатеринбург Арены»	314
---	-----

А.А. Битюрин

Моделирование амплитуды колебаний статически неопределимой плоской рамы, испытывающей ударную нагрузку, с учетом контактной деформации	331
--	-----

СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

М.Ш. Саламанова

Получение щелочного связующего из кремеземистых добавок по упрощенной технологии	341
--	-----

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

А.С. Короткий, А.С. Иванов

Унификация конструкции пролетных строений с несущими элементами из полимерных композиционных материалов	352
---	-----

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

С.Б. Сборщиков, П.А. Журавлев

Основные положения концепции реинжиниринга территории и застройки	365
---	-----

А.С. Павлов

Государственные закупки в строительстве – критический обзор	377
---	-----

Требования к оформлению.	386
----------------------------------	-----

CONTENTS

ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING. RECONSTRUCTION AND REFURBISHMENT

Daria A. Ilicheva

- Transformation of perception and requirements for seaside towns,
their saturation, architectural appearance 275**

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

Adham I. Giyazov, Saidmukhammad M. Mirzoev, Karum Abdulrahman

- Modeling thermal and wind processes in the near-wall layer
of building envelopes subjected to insolation 285**

Azariy A. Lapidus, Dmitry V. Topchiy, Irina S. Shevchenko

- The concept for developing a programme model for the scientific and
technical support of lifecycles of unique deeply embedded buildings. 298**

Yury A. Kolotovichev, Andrey M. Shakhramanyan

- An automated structural health monitoring system developed
for Ekaterinburg Arena 314**

Anatoliy A. Bityurin

- Modeling of the oscillation amplitude of a statically indeterminate flat frame
subjected to the impact load with account taken of the contact deformation 331**

CONSTRUCTION MATERIAL ENGINEERING

Madina Sh. Salamanova

- Using a simplified technology to make an alkaline binder from silica additives 341**

ENGINEERING SYSTEMS IN CONSTRUCTION

Andrey S. Korotkiy, Artyom N. Ivanov

- Unification of superstructures having load-bearing elements
made of fiber-reinforced polymer composites 352**

TECHNOLOGY AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION. ECONOMICS AND MANAGEMENT IN CONSTRUCTION.

Sergej B. Sborshchikov, Pavel A. Zhuravlev

- Reengineering of territories and built-up areas: a conceptual framework. 365**

Alexander S. Pavlov

- Public procurement in construction: a critical review 377**

- Requirements for research paper design 386**

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:

- 05.02.22 — Организация производства (строительство) (технические науки);
- 05.23.01 — Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки);
- 05.23.02 — Основания и фундаменты, подземные сооружения (технические науки);
- 05.23.03 — Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение (технические науки);
- 05.23.04 — Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов (технические науки);
- 05.23.05 — Строительные материалы и изделия (технические науки);
- 05.23.07 — Гидротехническое строительство (технические науки);
- 05.23.08 — Технология и организация строительства (технические науки);
- 05.23.16 — Гидравлика и инженерная гидрология (технические науки);
- 05.23.17 — Строительная механика (технические науки);
- 05.23.19 — Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства (технические науки);
- 05.23.20 — Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия (технические науки, архитектура);
- 05.23.21 — Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности (технические науки, архитектура);
- 05.23.22 — Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов (технические науки, архитектура);
- 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 72

DOI: 10.22227/1997-0935.2022.3.275-284

Трансформирование восприятия и требований к приморским городам, их насыщенности, архитектурному облику

Дарья Александровна Ильичева

Московский архитектурный институт (государственная академия) (МАРХИ); г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В современных российских приморских городах и их архитектуре сформировался запрос на усовершенствование качества и вариантов выбора для проживания жителями и гостями города, вариативности функционального насыщения архитектурных объектов, целостного и комфортного облика строений.

Материалы и методы. Рассматриваются через социальную призму каким было и как изменилось восприятие жизни в приморских, что осталось общего, какие потребности существуют со стороны всех категорий жителей, на примере Севастополя, и что возможно предпринять для грамотного ответа.

Результаты. Стремительно изменяющиеся методы организации рабочего процесса, рост уровня комфорта места проживания, его окружения повышают требования к городской среде в целом. Художественно-стилистическое единство и эстетика окружения стали обязательной и неотъемлемой частью комфортного проживания, пространства, способного дать быстрый ответ на потребности общества. Необходимо проследить исторические и современные тенденции, присущие конкретному месту; понять запросы граждан к городу, что следует сделать для гармоничного развития и жизни в нем; найти специфику, присущую новым объектам жилой застройки, и художественно-стилистические предложения.

Выводы. На основании сформированных по культурным и экономическим критериям категорий граждан выявлена линия общих проблем и запросов, требующих решения и влекущих за собой ряд обстоятельств, создающих дискомфорт в городе. С целью решения этих задач сформулированы концептуально предложения модели для застройки, имеющей свойства многофункциональности и вариативности насыщения, формируя целостную комфортную среду пользования, концентрируясь не только на социальном и экономическом аспектах, но и на не менее значимых аспектах архитектурно-стилистического восприятия. Предложены рекомендации по «использованию» данной модели и формированию облика города.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: приморские города, береговая линия, морской фасад, архитектурный облик, имидж города, требования жителей, Севастополь, жилая архитектура, многофункциональность объекта, современное жилье, восприятие жилого пространства

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Ильичева Д.А. Трансформирование восприятия и требований к приморским городам, их насыщенности, архитектурному облику // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 3. С. 275–284. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.3.275-284

Автор, ответственный за переписку: Дарья Александровна Ильичева, dasha_ia@mail.ru.

Transformation of perception and requirements for seaside towns, their saturation, architectural appearance

Daria A. Ilicheva

Moscow Institute of Architecture (State Academy) (MARKHI); Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The present-day life of Russian seaside towns, their architecture and aesthetics feature an urgent demand for improving the quality and adding new choice options for residents and guests, the variability in the functional saturation of architectural objects and, what is also extremely important, the holistic and comfortable appearance of buildings.

Materials and methods. The author will consider how the perception of life in seaside towns has changed, what requests have appeared, and what can be done to meet them. These tasks will be considered in a social context from the standpoint of each category of residents. The author uses Sevastopol as a case city.

Results. The author has identified rapidly changing workflow organization methods, tightening standards of comfortable places of residence, their surroundings, and tougher requirements for an urban environment as a whole. Artistic and stylistic unity, environmental aesthetics have become obligatory and integral constituents of comfortable living in a space capable of giving a quick response to the needs of a resident. It is necessary to trace the historical and modern trends inherent in a particular place, to understand what requests citizens have, what is needed for the harmonious development and life in it, what special features should be inherent in new residential buildings, what artistic and stylistic proposals are to be made.

Conclusions. A set of common problems and requests, that require solutions and entail a number of circumstances creating discomfort in urban living, has been formulated for each category of citizens identified using cultural and economic criteria. To solve

these problems, the authors suggests concepts of a development model, demonstrating multifunctionality and variability, creating a holistic comfortable environment, focusing both on socioeconomic issues and equally important aspects of architectural and stylistic perception. Recommendations on the "use" of this model and the development of urban appearance are also made.

KEYWORDS: seaside towns, coastline, waterfront, architectural appearance, city image, residents' requirements, Sevastopol, residential architecture, multifunctional facility, modern housing, perception of the living space

FOR CITATION: Ilicheva D.A. Transformation of perception and requirements for seaside towns, their saturation, architectural appearance. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2022; 17(3):275-284. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.3.275-284. (rus.).

Corresponding author: Daria A. Ilicheva, dasha_ia@mail.ru

ВВЕДЕНИЕ

За последние годы, в частности на фоне пандемии, в сознании людей кардинально изменились восприятие места проживания, даже кратковременного, требования к нему, его окружению и насыщенности инфраструктуры¹. В современных условиях, когда рабочее пространство перестало быть обязательно офисным, и большая часть работы переходит на удаленный формат, эта особенность значительно повлияла на обновление восприятия жилого пространства, в том числе и временного курортного наравне с постоянным, на подход к его выбору. Если 10–15 лет назад среднестатистический отдыхающий в стране был удовлетворен малогабаритным пространством с минимальным комфортом, насыщением и инфраструктурой вокруг, а среднестатистический житель также был готов довольствоваться малыми габаритами своего постоянного жилья и элементарной инфраструктурой дома и города, то в настоящее время подобные условия устарели², и необходимы альтернативные предложения³. В современных реалиях, рассматривая приморские города России, главным образом побережье Крыма, жителям уже недостаточно небольшой квартиры, туристам — минимального спального места и ванной комнаты.

Ярким и сложным примером приморских городов Крыма может служить Севастополь⁴ с концентрацией функций города, проблем, потенциала⁵ природного и культурно-исторического ландшафтов, многогранности категорий граждан и их потребностей, интереса инвесторов⁶ и сложностей развития в целом.

Проанализированы публикации и материалы, связанные с современным изменением и видением

проблем в архитектуре жилья, структуре объемно-пространственных решений с целью поиска новых путей для решения поставленных задач [1–6]. Проведен обзор тенденций и традиций в требованиях и восприятии открытых пространств в городской среде [7, 8]. Изучены зарубежный опыт использования приморских городов, требования жителей к архитектурным объектам, особенно в первой береговой линии [9–14]; материалы по изменению у граждан видения, восприятия и требований к объектам приморской застройки, их функционалу и окружающих территорий, к городской среде [15–17]. В дополнение рассмотрены методы формирования новых проектных предложений, их реализации с экономической и социальной точек зрения [18–20]. Для выявления исторических предпосылок, запросов и нужд приморских городов Черного моря с концентрацией внимания на Севастополе проведен анализ материалов научных и диссертационных работ по истории полуострова, архитектуре и ее изменениях [21–26]. Современное понимание состояния города базируется на современных градостроительных, физико-географических и социально-экономических исследованиях, посвященных Севастополю [27–30]. Потенциал города и территорий, инвестиционная привлекательность и значимость скорейшего развития подкрепляются статистическими данными и официальными докладами.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Чтобы город правильно и активно развивался, следует сформировать конкурентоспособное предложение для потенциальных инвесторов и интереса государства⁷. Для этого целесообразно, в первую очередь, понять, какие категории граждан состав-

¹ Tuohy J.P. Goodbye, Smart Home? // Dwell. URL: <https://www.dwell.com/article/better-smart-home-technology-8f00a382>

² Koschei J. What exactly is a design culture? URL: <https://www.invisionapp.com/blog/what-is-a-design-culture/>

³ Maassen A., Galvin M. What does urban transformation look like? Finding from a Global Prize Competition. URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/17/4653/htm>

⁴ Стратегия социально-экономического развития города Севастополя до 2030 г. URL: <http://investsevastopol.ru/ru/strategiya>

⁵ Соповещение по вопросам социально-экономического развития Крыма и Севастополя. URL: <http://www.kremlin.ru/events/president/news/65173>

⁶ Клевец Н.И., Калькова Н.Н. Оценка инвестиционной привлекательности рекреационных зон (на примере АР Крым) // Культура народов Причерноморья. 2007. № 120. С. 120–125.

⁷ Nethercote M. Build-to-rent surge will change apartment living for Australians, but for better or worse? // The Conversation. URL: <https://theconversation.com/build-to-rent-surge-will-change-apartment-living-for-australians-but-for-better-or-worse-154839>

ляют население⁸ Севастополя, их запросы. Почему именно состав жителей и их потребности в значительной степени должны определять проектные решения? Образующим здесь является то, что город работает и живет именно за счет своих пользователей⁹, создавая собственный менталитет территории,

с течением времени превращающийся в исторические следы и культурно-исторические объекты, памятники и идентичность.

Категории граждан сформированы по экономическим¹⁰ и культурным градациям, что позволит выявить их проблемы и потребности (табл.).

Категории граждан города

Categories of citizens of the city

Категория Category	Потребности Needs	Проблемы Problems
Местные жители Local residents	Новое жилье Современная придомовая территория Доступность и многогранность инфраструктуры Доступ к морю Возможность развития малого бизнеса New housing Modern house territory Accessibility and versatility of infrastructure Access to the sea The possibility of small business development	Дисбаланс мест проживания и мест работы Сложность в формировании частного бизнеса Слабое развитие инфраструктуры Imbalance between places of residence and places of work Difficulties in developing private businesses Poor infrastructure development
Бизнес/инвесторы Business/investors	Транспортная доступность Выбор мест проживания Выбор мест общественного питания Transport accessibility Options of accommodation Selection of public catering places	Ограниченность выбора и качества мест проживания Ограниченность мест общественного питания Транспортная доступность A limited choice and quality of accommodation A limited number of public catering facilities Transport accessibility
Туристы Tourists	Выбор мест проживания Прогулочные зоны Развитость туристической инфраструктуры Доступ к морю Единство музейного, природного и архитектурного комплекса/образа города Selection of accommodation Walking areas Development of tourist infrastructure Access to the sea The integrity of the museum, natural and architectural complex/image of the city	Ограниченность выбора и качества мест проживания Ограниченность мест общественного питания Недостаток пляжей и доступа к морю Отсутствие единого комплекса и архитектурного облика города, его набережных The limited choice and quality of accommodation Limited public catering facilities Lack of beaches and access to the sea Absence of an integrated complex and architectural appearance of the city, its embankments
Молодые семьи Young families	Доступное жилье Возможность развития малого бизнеса Доступность и вариативность общественных пространств Affordable housing Small business development opportunity Accessibility and variability of public spaces	Нехватка доступного и арендного жилья Сложность в формировании частного бизнеса Нехватка общественных пространств Insufficiency of affordable and rental housing Problematic development of private businesses Insufficiency of public spaces

⁸ Итоги переписи населения в Крымском федеральном округе / Федеральная служба государственной статистики. М. : ИИЦ «Статистика России», 2015. 279 с.

⁹ Garden for Sales Gallery // Landezine. URL: <http://www.landezine.com/index.php/2013/01/garden-for-sales-gallery-by-trop-co-ltd/>

¹⁰ Социально-экономическое положение Республики Крым // Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Республике Крым. 2017. URL: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/rosstat/togs/1200/dokl17-01.pdf

Окончание табл. / End of the table

Категория Category	Потребности Needs	Проблемы Problems
Пенсионеры Pensioners	Развитая придомовая территория и инфраструктура Доступность комфортных прогулочных зон, особенно у воды A well-developed curtilage and infrastructure Availability of comfortable walking areas, especially near the water	Неразвитость придомовой территории и ее инфраструктуры Труднодоступность и ограниченность комфортных прогулочных зон у воды Underdeveloped curtilages and their infrastructure Poor accessibility and the limited number of comfortable walking areas near the water
Учащиеся Students	Выбор мест общественного питания Выбор мест проживания Вариативность общественных пространств Доступность прогулочных зон и моря Selection of public catering facilities Selection of accommodation Variability of public spaces Accessibility of walking areas and the sea	Ограниченность выбора и качества мест проживания Ограниченность мест общественного питания Недостаток пляжей и доступа к морю, прогулочным зонам The limited choice and quality of accommodation The limited number of public catering facilities Few beaches and poor access to the sea and walking areas
Дети Children	Развитая придомовая территория Доступность прогулочных зон Developed curtilages Accessible walking areas	Недостаток придомовой территории Нехватка прогулочных зон Small curtilages Few walking areas

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сформированная и продемонстрированная выше таблица соотношения категорий граждан, их потребностей и проблем наглядно показывает, что для всех граждан существует определенный ряд схожих проблем, которые в сумме сдерживают полноценное и грамотное развитие Севастополя, это:

- недостаток жилья, в том числе арендного;
- высокая заинтересованность в наличии особенно арендного жилья/площадей/пространств;
- неразвитость инфраструктуры придомовых и общегородских территорий;
- ограниченность доступа к воде;
- сложность в развитии и поиске пространства для частного малого бизнеса.

Таким образом, ответом должен стать поиск проектных предложений, решающих функциональные, социальные и экономические запросы на максимуме уровней. В первую очередь следует разрешить проблему отсутствия фактического выбора качественных предложений на рынке жилья, предложений емких и понятных, интересных по вариативности и свободе функционального насыщения, привлекательных своей актуальностью — для местных жителей. Предложений, сфокусированных в объемно-пространственных решениях на визуально-пространственных связях с водой и горным ландшафтом, предоставляющих максимальный обзор природного потенциала в пространстве ком-

фортного временного проживания, — для туристов. Требуется емкая и простая в реализации модель, в малые сроки обеспечивающая возможность получения прибыли, — для инвесторов. Объект, включающий пространства, предусмотренные для проживания, социального обслуживания, работы и других функций, что будет способствовать нормализации и упорядочиванию равномерности инфраструктуры, — для всех категорий граждан. Фактически, требуется сформировать достаточный набор исключительно характерных проектных решений для специфики Севастополя.

Однако, помимо формирования ответа на запросы базово необходимой функциональности, следует помнить, что в равной степени с наличием адаптивного и вариативного наборов архитектурно-проектных решений актуальным выступает и аспект привлекательности города¹¹. С целью активизации привлекательности Севастополя для туристов и инвесторов, а следовательно, и притока инвестиций, значимо создать убедительный имидж города, продемонстрировать его колоссальное культурное, историческое и природное наследие, которое является уникальным по своей совокупности и возможностям. Чего не хватает и с какими проблемами связана реализация поставленной задачи?

Севастополь, имея многослойный культурно-исторический базис, положительный архитектурный опыт, четко определенные и опробованные

¹¹ Инвестиционная привлекательность Севастополя. URL: <http://investsevastopol.ru/ru/investicionnaya-privlekatelnost>

архитектурные решения в планировке и строительстве, свойственные именно южным городам, к сожалению, сегодня располагает следующими слабыми сторонами:

- раздробленная структура застройки без единой стилистики;
- отсутствие такой неотъемлемой черты для приморских городов, как пластика морского фасада, разрушенные панорамы с воды и берега;
- потеряны уникальный ландшафтный комплекс балок и грив, который всегда застраивался террасами и зданиями малого масштаба;
- разорванность прибрежной пешеходной линии;
- осязаемый недостаток пляжей в городе;
- отсутствие выходов к главной достопримечательности любого морского города — к воде.

Это — перечень ключевых моментов, которые приводят к тому, что в итоге Севастополь не соответствует требуемому облику, не развиты главные компоненты, создающие привлекательный имидж, необходимый для крупного морского южного города (рис. 1). Каким образом возможно быстрее и желательно проще восстановить соответствующее представление и благоприятную архитектурно-планировочную среду города?

Логично рассмотреть вопрос общего вида города, он должен быть единым, взаимосвязанным, гармонично встроенным в ландшафт, подчеркивая

и демонстрируя его уникальность. Как с воды, так и с берега, структура города должна восприниматься амфитеатрально, т.е. террасированная застройка формирует «театральные ярусы», где «сцена» — это море¹² (рис. 2). Для этого рекомендуется сформировать три условных пояса-линии застройки в Севастополе: первая береговая линия в пределах до одного километра от воды, вторая береговая линия в пределах от одного до двух километров удаленности от моря и третья береговая линия с удаленностью от воды более трех километров. Такие линии-пояса застройки обеспечат многоярусность силуэта города, его сомасштабность и ответ имеющемуся рельефу. Приоритетной и основополагающей должна быть структура и стилистика объектов застройки первой береговой линии, которая будет транслироваться на другие ярусы. Именно первая береговая линия должна стать основополагающей, поскольку именно эта территория осваивалась первой, здесь начиналось не одно поселение, она имеет наиболее высокую концентрацию культурно-исторического наследия, также большинство административных и экономических точек притяжения расположено именно в этой местности. Усиление и поддержание амфитеатральности, многоплановости и единства панорам архитектуры и природы сегодня возможно урегулировать, в первую очередь, нормированием высотности новых строений, несомненно, в зависимости от их удаленности от воды. Предпочтитель-

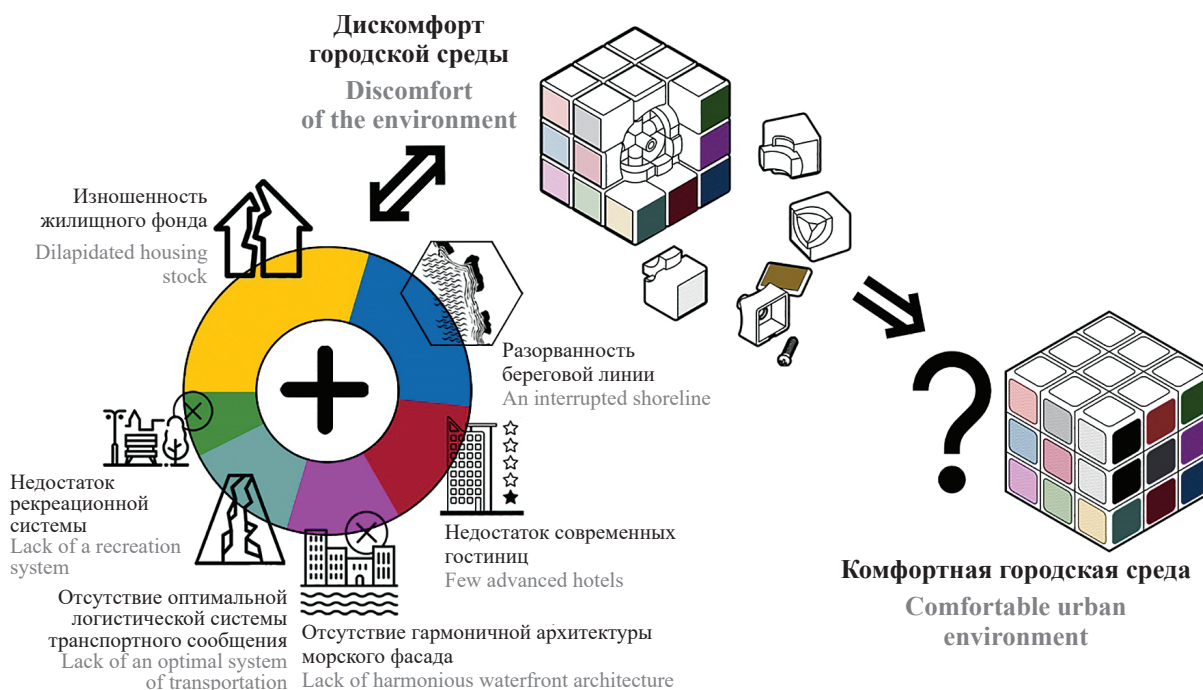


Рис. 1. Составляющие дискомфорта городской среды

Fig. 1. Urban environment: components of discomfort

¹² Гнездилов А.Л., Перов М.В. Концепция пространственного развития города федерального значения Севастополь // ГУП «НИИПИ Генплана Москвы». 2015. URL: <https://genplanmos.ru/project/genplan-sevastopol/>

на следующая масштабность строений: для первой линии размещения объектов высотность до четырех этажей, для второй линии объекты высотностью до шести этажей и для третьей — не выше двенадцати этажей. Подобное нормирование высотности обеспечит защиту визуального ряда панорам и единство архитектурных объемов с природным рельефом Севастополя. Городская ткань должна быть плотной и многофункциональной, что одновременно решит проблему насыщенности инфраструктуры для развития культуры и малого частного бизнеса.

Продолжая развитие принципа амфитеатра города не менее важно обеспечить целостность структуры, устранить ее раздробленность, создать пластичность (рис. 3). Это возможно сделать посредством заполне-

ния пустот, увеличения плотности структуры фасадно-плоскостного восприятия города. Таким образом, следует создавать мелкодисперсную максимально плотную структуру, которая, в свою очередь, обязана иметь высокую проницаемость через значительное применение арок, галерей и иных проходов, что обеспечит формирование коридоров. Дополнительно облик морского фасада можно реализовать и частично восстановить через расчистку береговой линии от несанкционированных, излишне высотных и не отвечающих стилистике южно-морского города строений. Объемно-архитектурные решения должны включать в свою структуру террасы, балконы, тенты, бассейны, перголы, галереи и другие объемно-пространственные решения, свойственные южным городам, в особенно-

Город-амфитеатр:

The amphitheater city:
Город-театр / The theater city
Город морских террас / The city of sea terraces

Город балок и гребней:

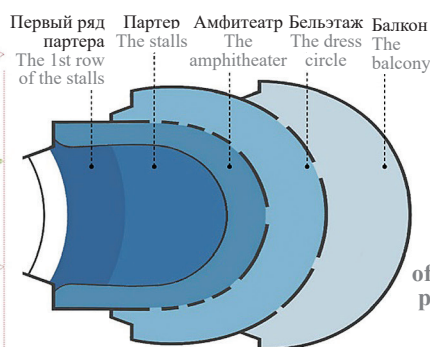
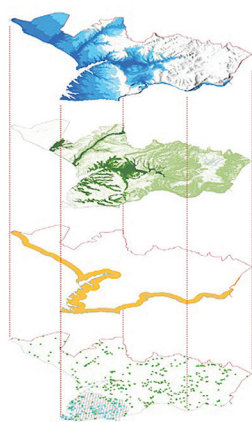
The city of ravines and crests:
Балки — продолжение бухт / Ravines: continuation of bays
Балки — парки / Park ravines

Город у моря:

The city by the sea:
Доступный и открытый берег / The coast is accessible and open to public
Город благоустроенных набережных / The city of well-maintained embankments

Город истории:

The city of History:
Город памяти и памятников минувших эпох и событий / The city of memory and monuments to past eras and events

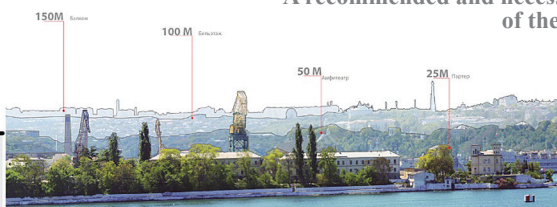
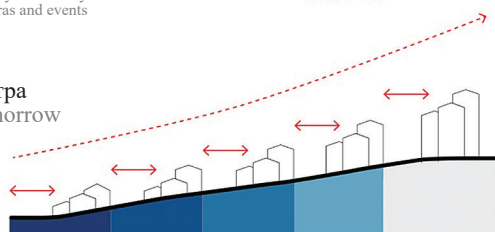


Амфитеатральность построения пластики панорам и сомасштабности застройки города
The amphitheater-type nature of the plasticity of urban panoramas and proportionately built up areas

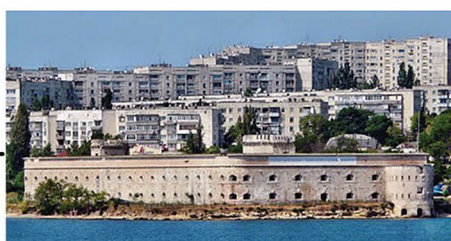
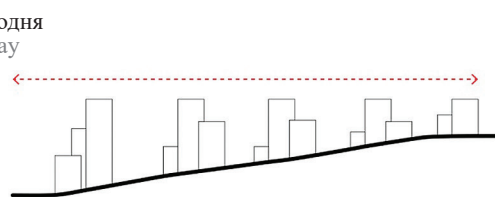
Рекомендуемый и необходимый силуэт морского фасада

A recommended and necessary outline of the waterfront

Завтра
Tomorrow



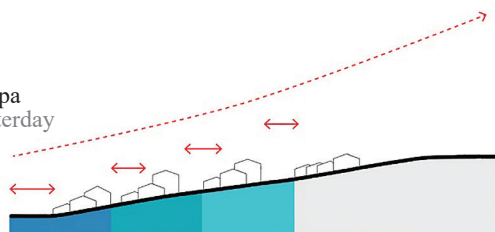
Сегодня
Today



Облик и структура морского фасада сегодня

The appearance and structure of the waterfront today

Вчера
Yesterday



Морской фасад города в начале XX века

The urban waterfront at the beginning of the 20th century

■ первая линия
1st line
■ вторая линия
2nd line
■ третья линия
3rd line

Рис. 2. Построение амфитеатральности и пластики морского фасада Севастополя

Fig. 2. Generation of "an urban amphitheater" and plasticity of the Sevastopol waterfront

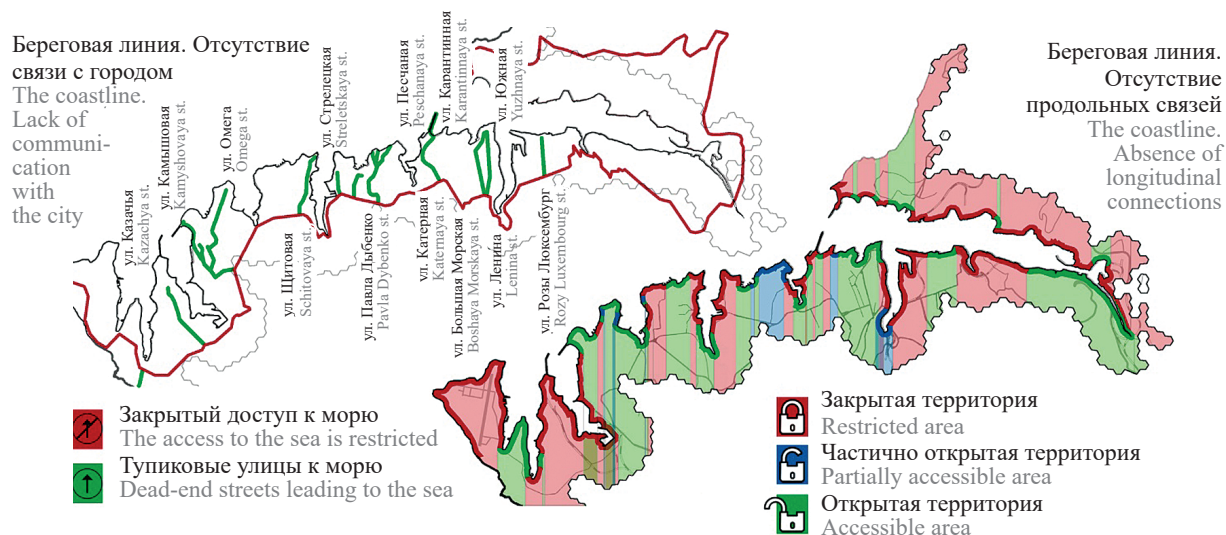


Рис. 3. Отчужденность и недоступность береговой линии для жителей

Fig. 3. Alienation and inaccessibility of the Sevastopol coastline for residents

сти древнегреческим, что будет отсылкой и преемственностью к музейному комплексу «Херсонес»¹³.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

В процессе исследования сформированы основные категории граждан, установлены их проблемы и потребности, мешающие полноценному комфортному проживанию в городе, также выявлен ряд схожих проблем, тормозящих развитие Севастополя. Решить эту задачу предлагается набором адаптивных архитектурно-проектных предложений, отвечающих специфике города. Сдерживающими полноценное развитие Севастополя стали дискомфорт пользования городской среды в целом, его имидж сегодня: установлены его основные слабые стороны и внесено предложение по быстрому и несложному способу создания комфортной городской среды и имиджа. Это предлагается достичь путем построения взаимосвязанной плотной структуры

морского фасада с нормированной высотностью по линиям удаленности от воды, формирующей единство панорам архитектуры и природного комплекса Севастополя. Приведено концептуальное проектное предложение «ячейка», вариативное по насыщенности и емкое в минимальных фиксированных исходных габаритах (рис. 4).

Новые проектные решения для объектов застройки, специально адаптированные под специфику и нужды Севастополя, должны формировать плотную, но мелкомасштабную структуру, с высокой насыщенностью первых этажей общественными функциями, проходами к морю путем своей проницаемости и легкости объемов визуально, с единством художественно-стилистических решений облика морского фасада в целом, обеспечивая имидж эстетического города, насыщенного функционально и располагающего достаточным выбором современного комфортного жилья для всех категорий жителей.

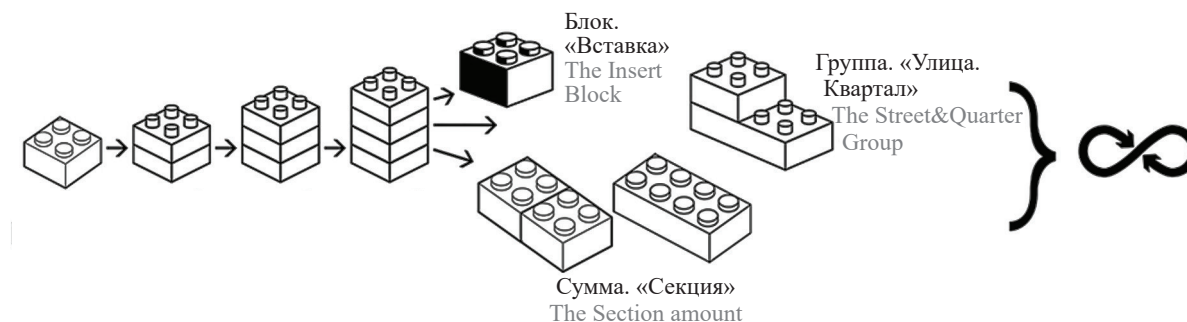


Рис. 4. Концептуальное предложение адаптивной и вариативной модели для застройки «ячейка» (начало)

Fig. 4. Conceptual proposal of an adaptive and variable model for building “cell” (beginning)

¹³ Как будет выглядеть грандиозный историко-археологический парк в Херсонесе // ForPost. Новости Севастополя. 20.08.2021. URL: <https://sevastopol.su/news/kak-budet-vyglyadet-grandioznyy-istoriko-arheologicheskij-park-v-hersonese>

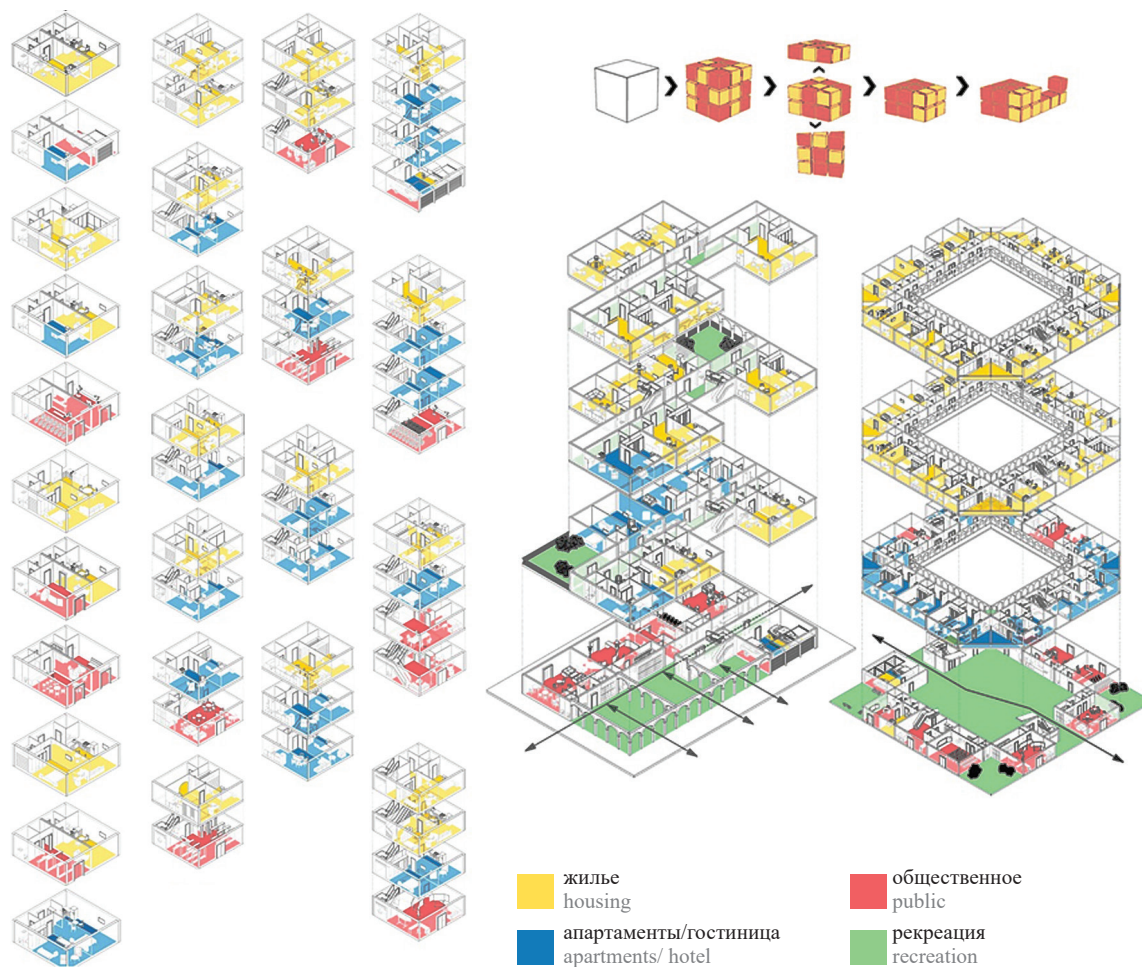


Рис. 4. Концептуальное предложение адаптивной и вариативной модели для застройки «ячейка» (окончание)

Fig. 4. Conceptual proposal of an adaptive and variable model for building "cell" (ending)

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Анисимов Л.Ю. Принципы формирования архитектуры адаптируемого жилища : дис. ... канд. арх. М., 2009. 210 с.
2. Асафова Т.Г. Модели архитектурно-планировочной индивидуализации квартир в массовом сегменте жилищного рынка : автореф. дис. ... канд. арх. М., 2010.
3. Бакаева Н.В., Бунина О.В., Игин А.Ю. Основные проблемы в жилищной сфере и инновационная практика их решения // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2016. № 2 (14). С. 77–87.
4. Игнашева А.А. Интеграция рабочего сектора в структуру жилого пространства // Архитектон: известия вузов. 2011. № 34.
5. Калабин А.В. Террасно-блокированные жилые дома для эффективной застройки склонов // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2011. № 1. С. 54–56.
6. Кияненко К.В. Архитектура и социальное моделирование жилища : дис. ... д-ра арх. Вологда, 2005. 470 с.
7. Дуцев М.В. Архитектурно-художественное формирование открытых городских пространств (на примере европейских городов) // Архитектон: известия вузов. 2012. № 4 (40). С. 4.
8. Иконников А.В. Пространство и форма в архитектуре и градостроительстве. М. : URSS, 2006. 349 с.
9. Baines J.M. Burton St Leonards. Hastings : Hastings Museum, 1956. 68 с.
10. Bishop C.H. Folkestone: The story of a town. Ashford : Headley Brothers, 1973. 153 p.
11. Borsay P., Walton J.K. Resorts and ports: European Seaside Towns since 1700. Great Britain : MPG Books Group, 2011. 240 p.
12. Ergen M. Urbanisation and Urban Renewal. London : IntechOpen, 2016.
13. Gehl J. Cities for people. Washington : Island Press; Illustrated edition, 2012. 288 p.
14. Tsukamoto Y., Kaijima M. Atelier Bow-Wow. Commonalities of architecture. Delft : Wouter Mikmak Foundation Delft, 2016. 40 p.

15. Atkinson R., Moon G. Urban policy in Britain: The City, the State and the Market. London : Macmillan press ltd, 1994.
16. Cannadine D. Lords and landlords. The Aristocracy and the Towns, 1774–1967. Leicester : Leicester University Press, 1980. 494 p.
17. Gray F. Designing the seaside: architecture, society and nature. London : Reaktion, 2006. 336 p.
18. Jencks C., Kropf K. Theories and Manifestoes of contemporary architecture. John Wiley & Sons, West Sussex, 1997. 312 p.
19. Roberts P. The evolution, definition and purpose of urban regeneration urban regeneration handbook. London : SAGE Publications, 2000.
20. Tilley A.R., Dreyfuss H. The measure of man and woman. Human factors in design. New York : John Wiley & Sons, 2002. 167 p.
21. Артюхов В.М., Баглей А.И. Лицом к морю // Возрождение Севастополя : сб. Симферополь, 1982. С. 41–56.
22. Есаулов Г.В. Архитектурно-градостроительное наследие Юга России: Его формирование и культурный потенциал : дис. ... д-ра арх. М., 2004. 482 с.
23. Килессо С.К. Архитектура Крыма. Киев : Будівельник, 1983. 95 с.
24. Коляда Е.М. Дворцы и парки Крыма XIX – начала XX века. История создания и стилистическая характеристика : дис. канд. искус. СПб., 2002. 181 с.
25. Линникова О.В. Стилиевые особенности усадебной архитектуры Крыма периода эклектики в контексте общеевропейских тенденций : дис. канд. искус. М., 2011. 233 с.
26. Орлова М.С. Морские берега Крыма как ресурс рекреации: на примере берегов Западного Крыма: дис...канд. геогр. наук. М., 2010. 166 с.
27. Баглей А.И., Артюхов В.М. Город-герой Севастополь. М. : Стройиздат, 1975. 205 с.
28. Новиков А.А., Новикова А.М. Физико-географические и социально-экономические аспекты формирования функциональных зон г. Севастополя // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2014. Т. 10. № 2. С. 675–680.
29. Хромов Ю.Б. Планировочная организация зон отдыха в городах и групповых системах расселения. Л. : Стройиздат, 1976. 330 с.
30. Ясенева Е.В. Геоэкологическая обстановка урбанизированных территорий Крыма: на примере г. Севастополь : дис...канд. геогр. наук. М., 2010.

Поступила в редакцию 23 марта 2022 г.

Принята в доработанном виде 30 марта 2022 г.

Одобрена для публикации 30 марта 2022 г.

ОБ АВТОРЕ: Дарья Александровна Ильичева — архитектор-специалист, исследователь, преподаватель-исследователь, сотрудник секретариата приемной комиссии, инженер; **Московский архитектурный Институт (государственная академия) (МАРХИ)**; 107031, г. Москва, ул. Рождественка, д. 11/4, корп. 1; РИНЦ ID: 1108408; dasha_ia@mail.ru.

REFERENCES

1. Anisimov L.Y. *Principles of the formation of the architecture of an adaptable dwelling : dis. ... Candidate of Architecture*. Moscow, 2009; 210. (rus.).
2. Asafova T.G. *Models of architectural and planning individualization of apartments in the mass segment of the housing market : abstract. dis. ... Candidate of Architecture*. Moscow, 2010. (rus.).
3. Bakaeva N.V., Bunina O.V., Igin A.Y. Basic problems of modern house-building and optimal innovative ways to solve them. *Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology*. 2016; 2(14):77-87. (rus.).
4. Ignasheva A.A. Integration of the working sector into the structure of living space. *Architecton: Proceedings of Higher Education*. 2011; 34. (rus.).
5. Kalabin A.V. Terraced-blocked residential buildings for effective development of slopes. *Akademicheskij Vestnik UralNIIProekt RAASN*. 2011; 1:54-56. (rus.).
6. Kiyanenko K.V. *Architecture and social modeling of housing : dis. ... doct. arch*. Vologda, 2005; 470. (rus.).
7. Dutsev M.V. Architectural and artistic treatment of open city spaces (with reference to European cities). *Architecton: Proceedings of Higher Education*. 2012; 4(40):4. (rus.).
8. Ikonnikov A.V. *Space and form in architecture and urban planning*. Moscow, URSS Publ., 2006; 349. (rus.).
9. Baines J.M. *Burton's St Leonards*. Hastings, Hastings Museum, 1956; 68.
10. Bishop C.H. *Folkestone: The Story of a Town*. Ashford, Headley Brothers, 1973; 153.
11. Borsay P., Walton J.K. *Resorts and Ports: European Seaside Towns since 1700*. Great Britain, MPG Books Group, 2011; 240.
12. Ergen M. *Urbanisation and Urban Renewal*. London, IntechOpen, 2016.

13. Gehl J. *Cities for people*. Washington, Island Press; Illustrated edition, 2012; 288.
14. Tsukamoto Y., Kaijima M. *Atelier Bow-Wow. Commonalities of Architecture*. Delft, Wouter Mikmak Foundation Delft, 2016; 40.
15. Atkinson R., Moon G. *Urban policy in Britain: The City, the State and the Market*. London, Macmillan press ltd, 1994.
16. Cannadine D. *Lords and Landlords. The Aristocracy and the Towns, 1774–1967*. Leicester, Leicester University Press, 1980; 494.
17. Gray F. *Designing the seaside: architecture, society and nature*. London, Reaktion, 2006; 336.
18. Jencks C., Kropf K. *Theories and Manifestoes of contemporary architecture*. John Willey & Sons, West Sussex, 1997; 312.
19. Roberts P. *The Evolution, Definition and Purpose of Urban Regeneration Urban Regeneration Handbook*. London, SAGE Publications, 2000.
20. Tilley A.R., Dreyfuss H. *The Measure of Man and Woman. Human Factors in Design*. New York, John Willey & Sons, 2002; 167.
21. Artyukhov V.M., Bagley A.I. Facing the sea. *The revival of Sevastopol*. Simferopol, 1982; 41-56. (rus.).
22. Yesaulov G.V. *Architectural and urban planning heritage of the South of Russia: Its formation and cultural potential : dis. ... doc. arch.* Moscow, 2004; 482. (rus.).
23. Kileso S.K. *Architecture of the Crimea*. Kiev, Budivelnik Publ., 1983; 95. (rus.).
24. Kolyada E.M. *Palaces and parks of the Crimea of the XIX – XX century, the history of creation and stylistic characteristics : dis...cand. art.* St. Petersburg, 2002; 181. (rus.).
25. Linnikova O.V. *Stylistic features of the estate architecture of the Crimea of the eclectic period in the context of pan-European trends : dis...cand. art.* Moscow, 2011; 233. (rus.).
26. Orlova M.S. *The sea shores of the Crimea as a recreation resource: on the example of the shores of the Western Crimea : dis...candidate of Geographical Sciences*. Moscow, 2010; 166. (rus.).
27. Bagley A.I., Artyukhov V.M. *Hero city Sevastopol*. Moscow, Stroyizdat Publ., 1975; 206. (rus.).
28. Novikov A.A., Novikova A.M. Physico-geographical and socio-economic aspects of the formation of functional zones of Sevastopol. *Geopolitics and Ecogeodynamics of Regions*. 2014; 10(2):675-680. (rus.).
29. Khromov Yu.B. *Planning organization of recreational recreation areas in cities and group settlement systems*. Leningrad, Stroyizdat Publ., 1976; 329. (rus.).
30. Yaseneva E.V. *Geoecological situation of the urbanized territories of the Crimea: on the example of Sevastopol : dis. cand. of Geographical Sciences*. Moscow, 2010. (rus.).

Received March 23, 2022.

Adopted in revised form on March 30, 2022.

Approved for publication on March 30, 2022.

B I O N O T E S : **Daria A. Ilicheva** — specialist architect, researcher, teacher-researcher, member of the secretariat of the selection committee, engineer; **Moscow Institute Architecture (State Academy) (MARKHI)**; housing 1, 11/4 Rozhdestvenka st., Moscow, 107031, Russian Federation; ID RISC: 1108408; dasha_ia@mail.ru.

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

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК: 692.699.8 : 721

DOI: 10.22227/1997-0935.2022.3.285-297

Моделирование тепло-ветровых процессов пристенного слоя ограждающих конструкций зданий при инсоляции

Адхам Иминжанович Гиясов, Саидмухаммад Мирзорохматович Мирзоев,
Карум Абдулрахман

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

АННОТАЦИЯ

Введение. В создании комфортной микроклиматической среды в помещениях зданий решающую роль играет инсоляционный режим, это актуально в обеспечении тепловой безопасности современных строительных объектов при повышении санитарно-гигиенического режима внутренней среды. Учет лучистой энергии солнца в архитектурно-строительном проектировании и, в частности, при конструировании теплозащитной оболочки зданий является приоритетным.

Материалы и методы. С целью установления роли инсоляции в формировании тепло-ветрового режима пристенного слоя ограждающих конструкций зданий использованы методы теоретических, натурных микроклиматических и теплофизических исследований конструктивной оболочки зданий, обоснованные анализом методик научных исследований отечественных и зарубежных авторов в области строительной теплофизики энергоэффективных зданий. Определена методология, позволяющая в новом аспекте проводить экспериментальные исследования по изучению физических процессов тепловой воздушной оболочки пристенного слоя ограждающих конструкций реальных объектов зданий.

Результаты. В результате натурных исследований тепло-ветровых процессов около конструктивной оболочки зданий при длительной ее инсоляции выявлено, что в пристенном слое воздуха зданий и в помещениях формируется неблагоприятный микроклимат со своим местным тепловым режимом. Установлена степень участия наружных стен зданий в формировании и регулировании тепло-ветрового режима пристенного микроклиматического слоя. Составлена модель конвективных потоков пристенного микроклиматического слоя многоэтажных жилых зданий, обладающего большой мощностью и вертикальной подвижностью и обуславливающего движение воздушной массы через пространство колонного этажа за счет термического контраста противоположных стен зданий.

Выводы. Определена роль солнечной энергии в формировании тепло-ветрового режима микроклиматического слоя воздуха теплозащитной оболочки зданий при инсоляции. Выявлен механизм теплофизических процессов при взаимодействии инсоляции с деятельной поверхностью конструктивной теплозащитной оболочки зданий. Сформулированы предпосылки к корректировке расчетной температуры воздуха при оценке теплоустойчивости ограждающих конструкций с учетом условий инсоляции фасадных систем зданий. Показаны предпосылки для обеспечения взаимосвязи внешней и внутренней воздушной среды и поиска путей естественной аэрации помещений.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: здание, помещение, инсоляция, стена, фасад, температура, энергоэффективность, микроклимат, конвекция

Благодарности. Работа проводилась в соответствии с планом научно-исследовательской работы кафедры проектирования зданий и сооружений НИУ МГСУ «Функция, конструкция и среда в архитектуре зданий» в аспекте проблемы «Тепловая безопасность в изменении климата».

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Гиясов А.И., Мирзоев С.М., Абдулрахман К. Моделирование тепло-ветровых процессов пристенного слоя ограждающих конструкций зданий при инсоляции // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 3. С. 285–297. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.3.285-297

Автор, ответственный за переписку: Адхам Иминжанович Гиясов, adham52@mail.ru.

Modeling thermal and wind processes in the near-wall layer of building envelopes subjected to insolation

Adham I. Giyazov, Saidmukhammad M. Mirzoev, Karum Abdulrahman
*Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU); Moscow,
Russian Federation*

ABSTRACT

Introduction. Insolation patterns play a decisive role in creating a comfortable microclimatic environment in building spaces. This is a relevant problem of thermal safety assurance for modern construction projects and better sanitary and hygienic conditions of indoor environments. The radiant energy of the sun is a priority in the architectural and structural design and the design of thermal shells of buildings.

Materials and methods. Theoretical, full-scale microclimatic and thermophysical field studies on structural envelopes of buildings were conducted to identify the contribution of insolation to thermal and wind patterns in the near-wall layer of building envelopes. These methods were verified using the analysis of research techniques, developed by domestic and foreign authors specializing in thermal physics of energy-efficient buildings. The authors developed a set of methods allowing to conduct new experimental studies of physical processes in the thermal air shell of the near-wall layer of envelope structures of real buildings.

Results. As a result of the field studies of thermal and wind processes underway near the structural envelope of buildings subjected to prolonged insolation, the authors learned that the microclimate turns uncongenial in the near-wall air layer of buildings and in building spaces. This microclimate has unique thermal conditions. The extent of impact, made by the external walls of buildings on the generation and regulation of thermal and wind patterns of the near-wall microclimate was identified. A model of convective flows of the near-wall microclimatic layer of multi-storied residential buildings was developed. These convective flows demonstrate high capacity and vertical mobility and cause the air mass to travel through the space of a building floor that has columns due to the thermal contrast between the opposite walls of buildings.

Conclusions. The authors have identified the contribution of solar energy to thermal and wind conditions in the air layer of thermal protective shells of buildings subjected to insolation. The mechanism, underlying the thermophysical processes arising in the course of interaction between insolation and the active surface of the thermal protective shell, is identified. The authors have formulated the preconditions for adjusting the design air temperature when assessing the thermal stability of building envelopes, taking into account the insolation conditions of facade systems of buildings. The preconditions for the relationship between outdoor and indoor air environments, as well as methods of natural aeration of premises have been demonstrated.

KEYWORDS: building, room, insolation, wall, facade, temperature, energy efficiency, microclimate, convection

Acknowledgments. The work was performed in compliance with the schedule developed for the research project implemented at Department of Design of Buildings and Structures, NRU MGSU. The project is focused on the "Function, Construction, Environment in the Architecture of Buildings", namely, the problem of "Thermal safety amid climate change".

FOR CITATION: Giyazov A.I., Mirzoev S.M., Abdulrahman K. Modeling thermal and wind processes in the near-wall layer of building envelopes subjected to insolation. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2022; 17(3):285-297. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.3.285-297 (rus.).

Corresponding author: Adham I. Giyazov, adham52@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Создание комфортной среды для человека в помещениях зданий — актуальная проблема в обеспечении тепловой безопасности современных строительных объектов при повышении санитарно-гигиенического режима внутренней среды. Учет лучистой энергии солнца в южном регионе СНГ и на территории экваториальных стран в конкретных решениях архитектурно-строительного проектирования, в частности в конструировании теплозащитной оболочки зданий, в связи с высокой интенсивностью поступающей радиации является приоритетным.

Качественные особенности и количественные показатели инсоляционного режима играют решающую роль в формировании комфортной микроклиматической среды в зданиях.

В процессе проектирования зданий в южном регионе в пределах 0–45° северной и южной широты в связи с тем, что продолжительность летнего периода составляет 6 и более месяцев в году, тепловой радиации принадлежит важная роль в формировании внутреннего микроклимата помещений. Большое количество солнечного тепла, обусловленное солнечной радиацией до 1000 Вт/м² на горизонтальную и 720 Вт/м² вертикальную поверхности, при продолжительности инсоляции ограждающих конструкций зданий до 8 ч/день, проникает в помещения через

светопроемы и несветопрозрачные ограждения. Как показывают натурные исследования теплового режима пристенной воздушной оболочки зданий, при инсоляции стен фасадов температура пристенного слоя летом достигает 55 °С при термическом нагреве поверхности стен до 65 °С. Вносится тепло в помещение через нагретый наружный пристенный слой воздуха. При этом в открытом режиме эксплуатации помещений тепло, проникая через открытую часть светопроема и через стены зданий, повышает температуру воздуха помещения до дискомфортного уровня 32 °С и более, при 26 °С верхнего предела комфорта летом.

В этой связи для повышения энергоэффективности зданий в особых условиях тепловой радиации необходимо принятие целесообразных проектных решений. Рациональным подходом представляется оценка теплофизических качеств стеновых ограждающих конструкций в стадии проектирования. Результаты теплофизических исследований, проведенные в натуральных условиях на реальных объектах жилых зданий, являются достоверными и обоснованными и должны быть направлены на повышение санитарно-гигиенического режима помещений.

Длительное облучение комнат и децельной поверхности ограждающих конструкций (несветопрозрачных и светопрозрачных конструкций, конструкций пластики фасадных систем и др.) при ин-

соляции, вокруг зданий и в помещениях формирует неблагоприятный микроклимат со своим местным тепло-ветровым режимом.

Изучение теплофизических свойств стеновых ограждений зданий в условиях летнего перегрева путем экспериментальных исследований на натурных объектах, а также теоретическое их подытоживание — обоснованно приоритетное научное направление в проектировании и строительстве многоэтажных и высотных зданий.

Решение данной задачи должно производиться путем оценки качественной и количественной составляющих процесса тепло-ветрового режима, формирующегося вокруг здания в микроклиматическом слое, и выявлять взаимосвязь пристенной тепловой воздушной оболочки с теплозащитной оболочкой ограждения здания и далее с тепловым режимом помещения (рис. 1).

Нестационарную теплопередачу через ограждающие конструкции при совместном действии температуры внешней среды, пристенного слоя воздуха и теплового воздействия при инсоляции наружной поверхности следует рассчитать, пользуясь понятием условной температуры наружного воздуха, учитывающей составляющие температуры пристенного слоя воздуха и температурной надбавки, эквивалентной действию солнечной радиации. В течение суток значения температуры внешней среды, пристенного слоя воздуха и действие солнечной радиации меняются. Имея соответствующий сдвиг по времени, колебания условной температуры определяют степень затухания температурных колебаний в ограждающих конструкциях.

Изучение нестационарной теплопередачи потока тепла с учетом условий инсоляции наружной поверхности ограждающих конструкций предопределяет перспективу конструирования теплозащитной оболочки зданий.

Наиболее распространенные в практике методы конструирования наружных ограждений — фасадные системы, являющиеся защитным экраном конструктивного слоя стены, участвуют в формировании локального тепло-ветрового процесса пристенного слоя воздуха при активной их инсоляции.

Анализ качественных и количественных характеристик теплофизических процессов, формирующихся в микроклиматическом слое воздуха тепловой оболочки зданий при активной инсоляции, позволит установить закономерности формирования пристенной тепло-ветровой среды, которая имеет непосредственную связь со средой помещений здания.

Определение роли стеновых ограждений, фасадных систем и придомовых подстилающих поверхностей территории зданий в формировании местного микроклиматического слоя воздуха, служащего основой регулирования тепло-ветрового режима пристенной тепловой воздушной оболочки и помещений здания, считается главным вопросом, требующим особого внимания в условиях продолжительного летнего перегрева с высокой активностью солнечной радиации.

Намеченный вопрос необходимо решить в следующей последовательности:

- выявить роль вертикальных поверхностей здания в формировании естественного конвективного потока в пристенном слое воздуха и тепловой воздушной оболочки вокруг здания;
- установить схему движения воздушного потока у поверхности наружного ограждения с выявлением характеристики термического режима ограждающих стен, являющихся первопричиной формирования тепло-ветрового режима микроклиматического слоя воздуха при инсоляции фасада здания;

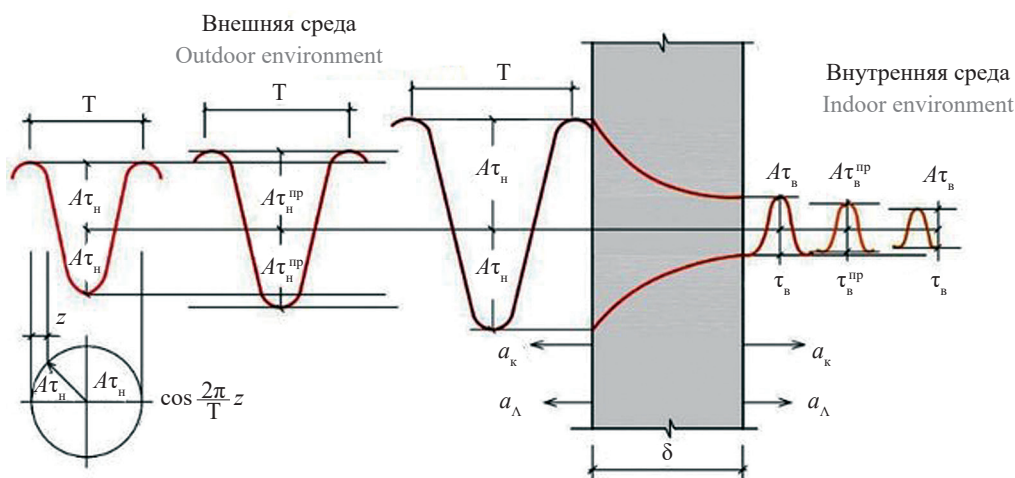


Рис. 1. Схема затухания температурных колебаний в ограждающей конструкции

Fig. 1. The damping pattern of temperature fluctuations in an envelope structure

- определить роль термического нагрева поверхности фасадных систем в формировании тепло-ветрового режима пристенного микроклиматического слоя воздуха;

- в новом аспекте решить задачи по обеспечению взаимосвязи между тепловым режимом внутренней среды помещений и внешней пристенной тепловой воздушной оболочкой здания.

Теплофизические характеристики ограждающих стен изучаются при передаче тепла в конструкциях при наличии разности температур на их противоположных поверхностях [1–4].

При маловетренной и штилевой погоде, которая характерна для региона с жарким климатом, причина термической неоднородности стен заключается в разности температур между инсолируемыми и затененными стенами фасадов, что составляет около 20–30 °С. При этом создается тепловой напор в конструктивной оболочке здания из-за разности удельных весов внутреннего воздуха помещений и наружного пристенного микроклиматического слоя воздуха, который составляет около 101,3 кПа при разности температуры до 20 °С и более [5–7].

Архитектурные и конструктивные элементы зданий играют значительную роль в формировании теплового режима воздушной среды в помещениях: конструкция стен и их ориентация по сторонам света, конструкция фасадных систем и материал, солнцезащитные устройства, конструкция окон, фрамуги, форточки и способы их открывания в разные стороны [8–13].

В последние годы теплообменные процессы между ограждающими конструкциями и прилегающим воздухом зданий, возводимых в условиях жаркого климата, рассмотрены рядом исследователей, которыми было отмечено, что формирование тепло-ветровых процессов, формирующихся в пространстве между зданиями, носит местный характер, и их первопричиной является взаимодействие солнечной энергии с деятельной поверхностью застройки при условии ее инсоляции [14–18].

Наши исследования, в отличие от предыдущих исследований, посвящены изучению воздействия лучистой энергии солнца на здания, как определяющего фактора формирования микроклимата помещений. При этом тепловая воздушная оболочка, формируемая вокруг здания, служит важным фактором местного климата, определяющего моделирование теплового режима помещений. Отмечается эффективность конструкции решением пластики фасадов, фасадных систем и солнцезащитных устройств в формировании микроклимата пристенного слоя и помещений при условии инсоляции.

В создании и развитии конвективных потоков в пристенной воздушной оболочке при условии инсоляции здания положительное значение имеет объемно-пространственное решение здания со сво-

бодным незастраиваемым первым этажом, так как способствует перетеканию прохладной воздушной массы со стороны теневого фасада здания в сторону, облучаемую через колонное пространство. Это решение рационально и для сейсмоактивных районов в связи с тем, что колонный незастраиваемый первый этаж создает гибкий этаж.

Отмечается, что теплофизические процессы в тепловой оболочке зданий, формирующиеся в пристенном микроклиматическом воздушном слое толщиной до 0,5 м от стены при ее активной инсоляции в штилевых и маловетренных погодных условиях, являются малоизученными, что послужило основой для постановки задачи и проведения экспериментальных теплофизических исследований стен и микроклиматических исследований воздуха пристенного слоя и помещения при совместной их работе в реальных объектах многоэтажных зданий, в отличие от ранее проведенных исследований.

В качестве объекта изучения определены многоэтажные жилые здания с пространственным первым этажом характерной типологии широтной и меридиональной ориентации, по конструктивным решениям наружных ограждений и фасадных систем схожие друг с другом.

Предмет исследования — энергетическая оценка качественных и количественных характеристик теплофизических процессов, формирующихся в микроклиматическом слое воздуха тепловой оболочки зданий при активной инсоляции, которая позволяет установить закономерности формирования пристенной тепло-ветровой среды, имеющей непосредственную связь со средой помещений здания.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Методы теоретических и натурных микроклиматических и теплофизических исследований конструктивной оболочки зданий обоснованы анализом методик научных работ отечественных и зарубежных авторов в области строительной теплофизики энергоэффективных зданий, и результатом поставленных в новом аспекте экспериментальных исследований авторов по изучению физических процессов в тепловой воздушной оболочке пристенного слоя наружных ограждающих конструкций реальных объектов зданий, основывающихся на методах теории теплопроводности и строительной физики.

В качестве объекта натурных исследований приняты характерные два 14-этажных жилых здания широтной и меридиональной ориентации с первыми незастроенными свободными этажами. В качестве примера выбраны пункты наблюдения зданий, возведенные в южном городе СНГ 38° с.ш., широтной и меридиональной ориентацией с идентичным благоустройством придомовых территорий.

Натурные исследования факторов микроклимата: температура и влажность воздуха, скорость,

направления и повторяемость ветра придомовых территорий, активность интенсивности солнечной радиации на деятельной поверхности зданий и ее термический режим, а также тепловой режим пристенных воздушных слоев и температура воздуха помещений зданий объектов производились в июне месяце синхронно на двух объектах 14-этажного жилого здания. На южном и северном, восточном и западном фасадах на расстоянии 20 см от стены по всей высоте объектов жилых зданий № 1 и 2 (табл.), также в пространстве первого незастроенного этажа на высоте 2 м от пола и на поверхности пола отмечены 12 точек наблюдений для измерения температуры и подвижности воздуха, температуры поверхностей стен и подстилающих поверхностей (рис. 2). Измерения теплового потока, направленного от поверхностей стен в пристенный слой воздуха, велись при помощи тепломеров. Определения факторов среды производились согласно принятой в метеорологии и теплофизике методике по производству микроклиматических и теплофизических обследований в период изысканий, по представленным схемам (рис. 2), используя комплекс современных портативных микроклиматических и теплофизических приборов, таких как тепловизионный инфракрасный термометр FLIR TG165, пиранометр термоэлектрический универсальный М-80, термоэлектрический актинометр АТ-50, пирометр GM1350, термоэлектрический актинометр АТ-50, testo-610, цифровой термометр ЕМ 9020С, анемометр АМТАСТ АМF001, термоанемометр ЭА-2М, термошуп ЭТП-М, крыльчатый анемометр, термометр сопротивления ТСМ-6114, термограф, гигрограф, тепломер, проходившие соответствующую поверку в бюро поверки метеорологического управления и Госстандарте.

Одновременно с натурными измерениями велись визуальные наблюдения путем видеосъемки развития воздушных потоков термического происхождения в пристенном слое и в незастроенном колонном первом этаже при задымлении дымовыми шашками.

С целью обобщения и выявления характеристик факторов микроклимата пристенного слоя воздуха, кроме результатов натурных исследований, были использованы и обобщены метрологические данные города и данные Среднеазиатского научно-исследовательского гидрометеорологического института им. В.А. Бугаева.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для подтверждения достоверности поставленных задач при изучении теплофизических процессов, протекающих в наружных стенах и возле них при условии инсоляции и сопутствующего термического нагрева наружной поверхности стен, обуславливающих конвективные потоки пристенного слоя воздуха и в итоге определяющих микроклимат помещений, были применены методы натурных ис-

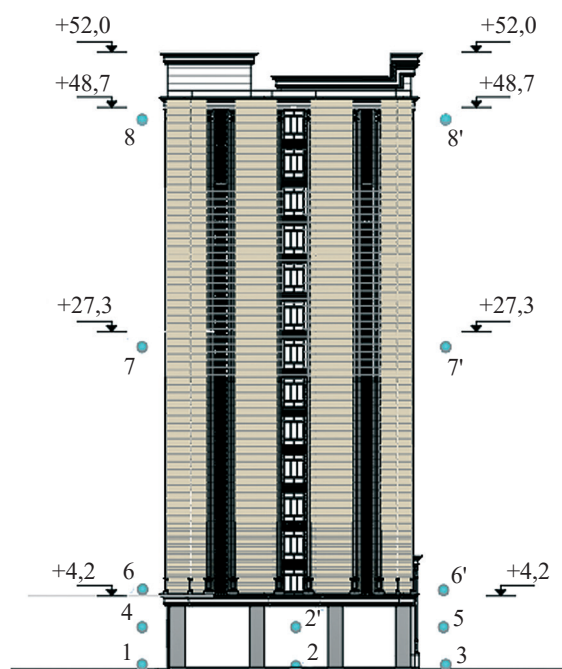


Рис. 2. Расположение точек наблюдений в исследуемых зданиях

Fig. 2. Location of observation points in the buildings under study

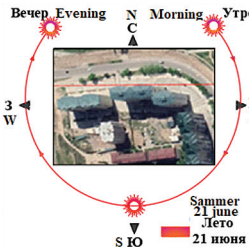
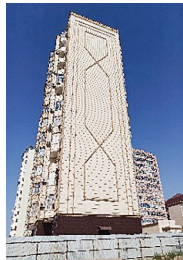
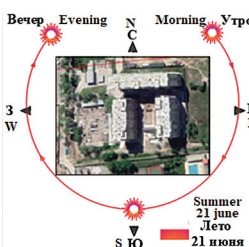
следований в двух характерных многоэтажных жилых зданиях.

Результаты исследований термического режима поверхностей стен исследуемых зданий, подстилающих поверхностей первого незастроенного колонного этажа и придомовой территории, температуры и скорости конвективных потоков в вертикальном пристенном слое воздуха по высоте и в горизонтальном направлении в пространстве незастроенного первого этажа обобщены и представлены на следующих графиках (рис. 3, 4) для зданий широтной ориентации.

Как видно из графиков, экстремальное термическое условие поверхности стены складывается на уровне карниза фасада здания южной ориентации до 55 °С (рис. 3) при теплоотдаче стены 240 Вт/м²ч (рис. 7), которое обуславливает развитие пристенного конвективного потока со скоростью до 2,8 м/с (рис. 4, а). Наблюдается повышение скорости пристенного восходящего конвективного потока по высоте вдоль стены на отметках от 4,2 до 48,7 м соответственно от 0,4 до 2,8 м/с. У стен северного фасада формируется нисходящий поток со скоростью до 1 м/с при термическом нагреве поверхности стен до 30 °С от отметки кромки карниза до нижней кромки стены фасада соответственно от 0 до 1 м/с. Скорость восходящих потоков в пристенном слое воздуха инсолируемых фасадов примерно в три раза превышает скорость нисходящих потоков с максимальным значением в 15 ч на уровне карниза многоэтажного здания.

Объект исследования, тепловизионные исследования.

Studied facilities; thermal imaging examinations

Планировочная схема застройки (г. Душанбе) The layout diagram of built-up areas (Dushanbe)	Результаты дневной тепловизионной съемки фасадов Daytime thermal imaging of facades	Объект Construction facility	Характеристика объекта исследования Characteristics of the studied facility
  	27.8 °C $\epsilon: 0.90$ 9 ч южный фасад 9 h south facade 47.5 °C $\epsilon: 0.95$ 14 ч южный фасад 14 h south facade 54.8 °C $\epsilon: 0.90$ 18 ч южный фасад 18 h south facade	14-этажное жилое здание с незастроенным пространственным первым этажом, объект № 1 A 14-storey residential building with a spatial vacant ground floor, Facility 1	Здание широтной ориентации. Со стороны северного фасада спланированы балконы со сложной пластикой, южный фасад гладкий с несложной шероховатостью. Стена однослойная из легкого бетона, альbedo 0,65. Придомовая территория благоустроена. Термический режим стены северного фасада стабилен. Термический режим стены южного фасада нестационарный. Нагрев стены южного фасада наблюдается при инсоляции с 10 до 18 ч максимальным значением в 15 ч. Замеры факторов тепло-ветровых процессов производились в пристенном слое стен северного и южного фасадов The orientation of the building is latitudinal. Balconies, having intricate shapes, are on the north facade. The south facade is smooth and features simple roughness. The single-layer wall made of lightweight concrete, albedo 0.65. The adjacent territory is landscaped. The thermal pattern of the north facade wall is stable. The thermal pattern of the south facade wall is unstable. The wall of the south facade is heated in case of insolation from 10 a.m. to 6 p.m. with the maximum duration of 15 hours. Thermal and wind processes were measured in the near-wall layer of the walls of north and south facades
 	28.5 °C $\epsilon: 0.90$ 9 ч западный фасад 9 h west facade 59.5 °C $\epsilon: 0.90$ 14 ч западный фасад 14 h west facade 72.2 °C $\epsilon: 0.90$ 18 ч западный фасад 18 h west facade	14-этажное жилое здание с незастроенным пространственным первым этажом, объект № 2 A 14-storey residential building with a spatial vacant ground floor, Facility 2	Здание меридиональной ориентации. Со стороны восточного фасада спланированы балконы с несложной пластикой, западный фасад гладкий с несложной шероховатостью. Стена однослойная из легкого бетона, альbedo 0,65. Придомовая территория благоустроена. Термический режим обеих стен фасадов нестационарный, нагрев стены восточного фасада в первой половине дня, западного фасада во второй половине дня с максимальными значениями соответственно в 13 и 18 ч. Замеры факторов тепло-ветровых процессов производились в пристенном слое стен восточного и западного фасадов The building has meridional orientation. The balconies, having a simple shape, are on the east facade. The west facade is smooth, although it features simple roughness. This single-layer wall is made of lightweight concrete, albedo 0.65. The adjacent territory is landscaped. The thermal pattern of both facade walls is non-stationary; the east facade wall is heated before noon, and the west facade wall is heated in the afternoon for 13 and 18 hours respectively. Measurements of thermal and wind processes were taken in the near-wall layer of the walls of east and west facades

Примечание: Тепловизионные съемки производились в характерных частях фасадов зданий.

Note: Thermal imaging surveys were conducted in the characteristic points of the building facades.

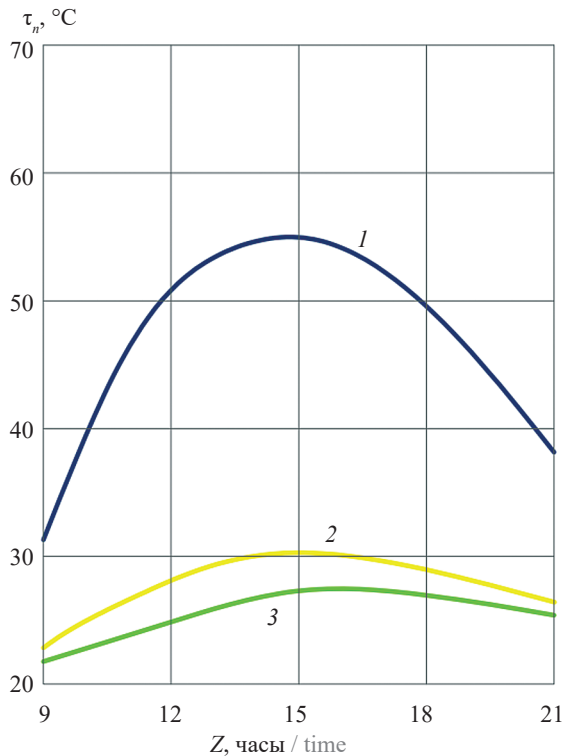


Рис. 3. Дневной ход температуры поверхности на отметке карнизов незастроенного этажа: 1, 2 — стен южного и северного фасадов; 3 — подстилающей поверхности первого незастроенного этажа

Fig. 3. The daytime curve of the surface temperature at the level of eaves of the vacant floor: 1 and 2 — walls of south and north facades; 3 — horizontal surfaces of the vacant ground floor

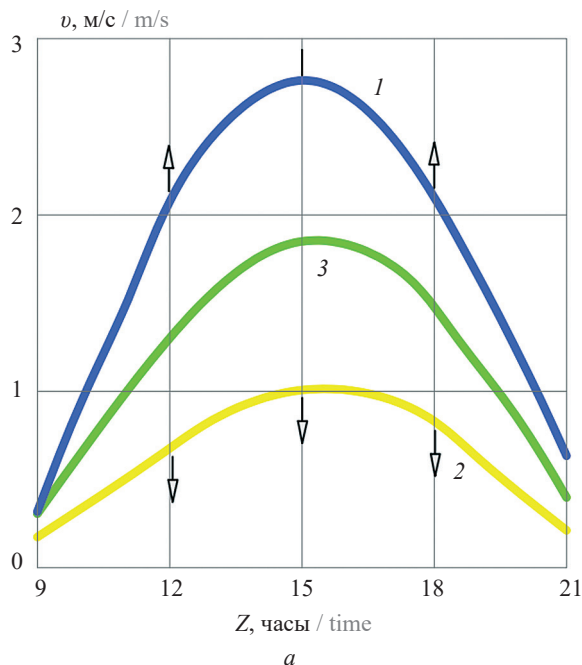


Рис. 4. Дневной ход скорости конвективных потоков (a) и температуры пристенного слоя воздуха (b) на отметке карниза и в пространстве незастроенного этажа 1-го и 2-го южного и северного фасадов; 3 — в пространстве первого незастроенного этажа; ↑↓ — направление восходящего и нисходящего потоков

Fig. 4. The daytime curve of the convective flow velocity (a) and the temperature of the near-wall air layer (b) at the level of eaves and on the vacant floor of the 1st and 2nd south and north facades; 3 — on the vacant ground floor; ↑↓ — directions of ascending and descending flows

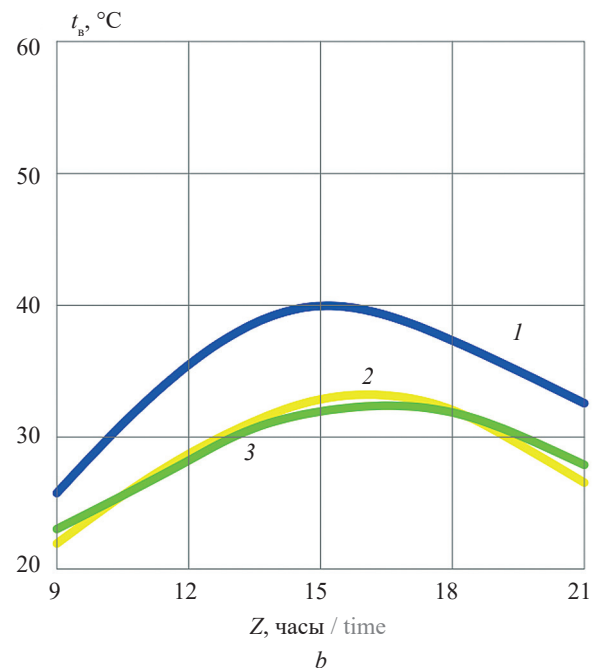
У южного фасада с 13 до 18 ч зафиксированные значения температуры пристенного слоя воздуха значительно выше зоны комфорта с максимальным значением $+40^{\circ}\text{C}$ (рис. 4, b) в 16 ч при нагреве поверхности стены до 55°C и теплоотдаче стены $240\text{ Вт/м}^2\text{ч}$, и интенсивности солнечной радиации 520 Вт/м^2 (см. рис. 7).

В пространстве незастроенного колонного этажа и пристенного слоя воздуха северного фасада температура воздуха в течение дня находится в пределах комфорта, до $+32^{\circ}\text{C}$ (рис. 4, b).

Отмечено, что в пространстве незастроенного первого этажа скорость ветра меняется от 0,5 до 1,8 м/с в зависимости от разности нагрева поверхности стены теневого северного и облучаемого южного фасада. При этом температурно-ветровой режим в пространственном незастроенном первом этаже оценивается как комфортный.

Таким образом, конвективный поток, формируемый в микроклиматической зоне ограждения при широтной ориентации здания, в течение дня работает в одном направлении со стороны стен северного фасада в сторону стен южного фасада, образуя полукольцевидную схему движения воздуха с направлением движения нисходящего воздушного потока стен северного теневого фасада, трансформацией через пространственный незастроенный этаж в сторону южного облучаемого фасада.

Подобные графики построены и для жилого здания с меридиональной ориентацией (рис. 5, 6).



Движение конвективного воздушного потока, сформированного в пристенном слое фасадов здания меридиональной ориентации, имеет чередующуюся в течение светового дня полукольцевидную схему в зависимости от условия инсоляции противоположных стен. При этом в первую половину дня прослеживается нисходящий поток воздуха, стекающий вниз вдоль стены теневого западного фасада, продолжая далее движение через пространство незастроенного первого этажа, он направляется в сторону восточного инсолируемого фасада, у которого развиваются восходящие потоки с максимальными значениями скорости на верхней отметке здания 2,8 м/с (рис. 6, а) в 14 ч, температурой пристенного слоя воздуха 48 °С (рис. 6, б) при нагреве поверхности стены до 58 °С (рис. 5), теплоотдачей 300 Вт/м² и интенсивностью солнечной радиации 710 Вт/м² (рис. 7). Во вторую половину дня происходит чередование полукольцевидной схемы движения воздуха с направлением движения нисходящего воздушного потока стен восточного теневого фасада, трансформацией через пространственный незастроенный этаж в сторону западного облучаемого фасада, у которого развивается восходящий конвективный поток со скоростью 3,2 м/с в 18 ч, температурой пристенного слоя воздуха 55 °С при нагреве поверхности стены до 72 °С, теплоотдачей 360 Вт/м² и интенсивностью солнечной радиации 780 Вт/м². Отмечено, что в пространстве незастроенного первого этажа скорость ветра меняется в пределах от 0,5 до 2,2 м/с в зависимости от разности нагрева поверхности стены теневого западного и облучаемого восточного фасада в первую половину дня и наоборот во вторую половину дня.

Температура поверхности стеновых ограждений и скорость конвективных потоков пристенного слоя воздуха здания меридиональной ориентации увеличивается с высотой, достигая максимального значения на уровне карниза здания.

При сравнении натурных данных скорости пристенных конвективных потоков с расчетными, вычисляемыми по формулам Л. Прандтля и В.Н. Богословского [19–21] для свободного движения воздуха вдоль вертикальной поверхности в результате разности температур поверхности и воздуха, установлена пропорциональная зависимость, которая принята в виде переводного коэффициента, скорректированная расчетная формула представлена в следующем виде

$$v_z = K \sqrt{2 \beta g z \Delta t}, \quad (1)$$

где K — коэффициент, учитывающий торможение потока воздуха, зависящий от решения пластики наружных стен; β — коэффициент температурного расширения, 1/К; g — ускорение свободного падения, м/с²; z — высота здания, м; Δt — разность температур между температурой поверхности и наружного воздуха, °С.

Следовательно, по формуле можно вычислить скорость восходящих пристенных конвективных потоков для реальных условий.

В результате обобщения данных измерений теплофизических характеристик стен и пристенного слоя воздуха с учетом условий инсоляции фасадов установлена зависимость максимальной скорости восходящих потоков, развивающихся в пристенном слое воздуха на произвольной высоте, от степени термического нагрева поверхностей стен (рис. 8).

Термический режим поверхностей стен значительно зависит от цвета, фактуры, текстуры поверхностей и теплоемкости конструкции, в то же время скорость восходящих и нисходящих потоков пристенного слоя воздуха зависит от сложности решения пластики стен и фасадных систем. В этой связи для натурных исследований теплофизических и микроклиматических факторов были приняты характерные объекты по конструктивным решениям наружных ограждений и решения фасадов, близкие друг другу.

Результаты натурных исследований показывают, что температура воздуха в пространстве первого этажа в течение дня находится в пределах комфорта до 30–32 °С при верхнем пределе комфорта внешней среды для региона с жарким климатом +32 °С.

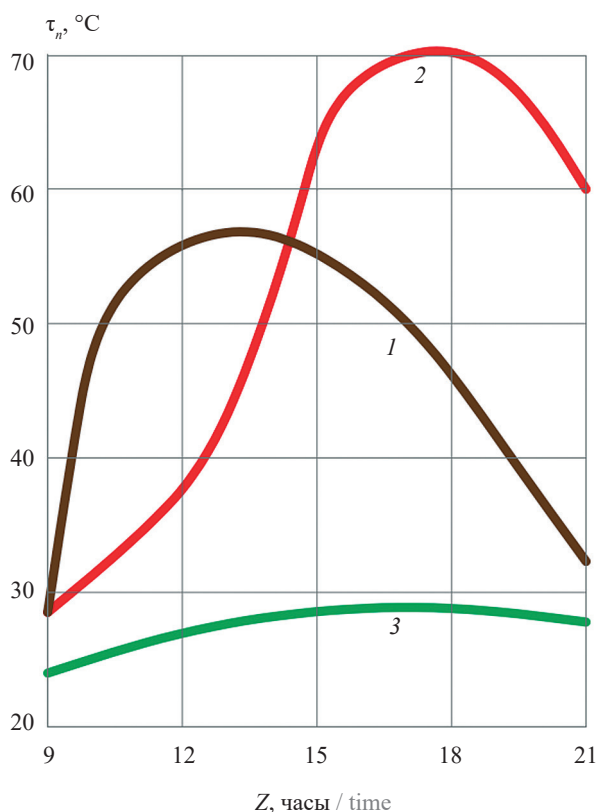


Рис. 5. Дневной ход температуры поверхности на отметке карниза и незастроенного этажа: 1 и 2 — стен восточного и западного фасадов; 3 — подстилающей поверхности первого незастроенного этажа

Fig. 5. The daytime curve of the surface temperature at the level of eaves and the vacant floor: 1 and 2 — walls of east and west facades; 3 — underlying surface of the vacant ground floor

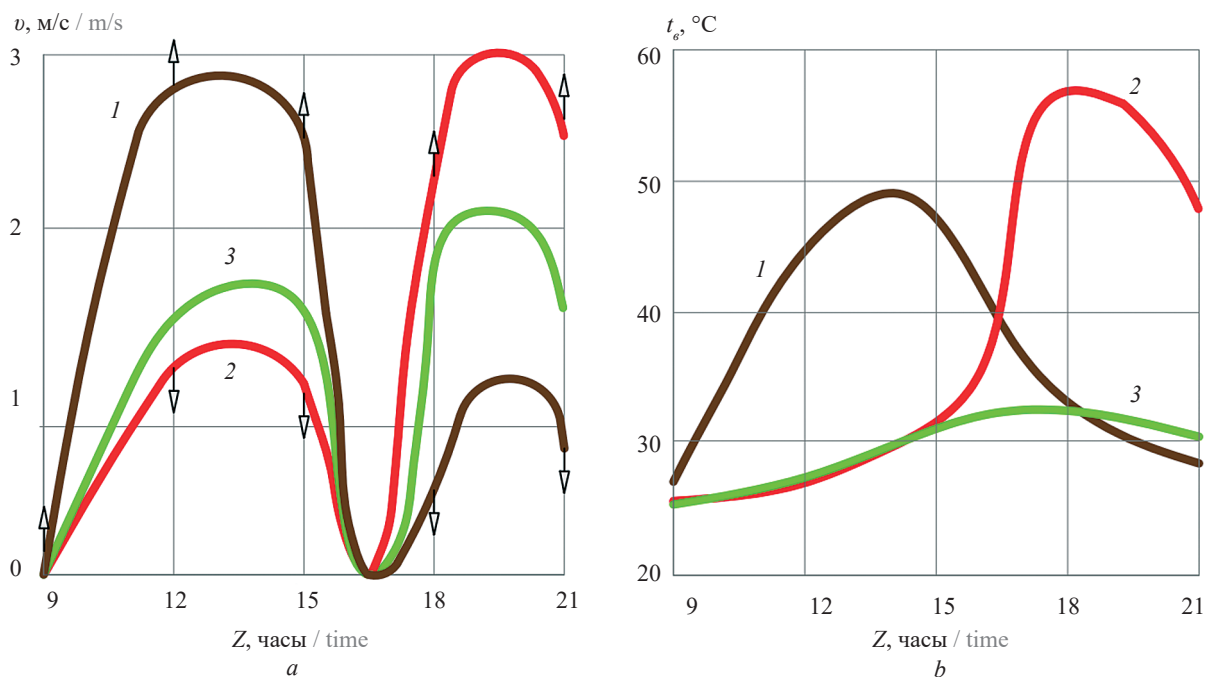


Рис. 6. Дневной ход скорости конвективных потоков (а) и температуры пристенного слоя воздуха (б) на отметке карниза и в пространстве незастроенного этажа: 1 и 2 — восточных и западных фасадов; 3 — в пространстве первого колонного этажа; ↑↓ — направление восходящего и нисходящего потоков

Fig. 6. The daytime curve of the convective flow velocity (a) and the temperature of the near-wall air layer (b) at the level of eaves and on the vacant floor: 1 and 2 — east and west facades; 3 — the ground floor having columns; ↑↓ — directions of ascending and descending flows

В помещениях зданий восточной ориентации наблюдается дискомфортная температура воздуха, достигающая до $+32\text{ }^{\circ}\text{C}$ (13 ч), в западной — $+34\text{ }^{\circ}\text{C}$ (19 ч) при верхнем пределе комфорта внутренней среды согласно нормам $+26\text{ }^{\circ}\text{C}$. В перегреве воздушной среды большую роль играет инсоляция ограждающих конструкций и помещения. При этом в помещениях, ориентированных на восток и запад, подвижность воздуха за счет сквозного проветривания при открытом режиме эксплуатации противоположных помещений находится в пределах от 0,08 до 1,4 м/с при пределе комфорта 0,08–0,15 м/с (рис. 9).

Перегрев внутренней воздушной среды помещений в исследуемых многоэтажных зданиях наблюдается при наружной температуре $+36\text{ }^{\circ}\text{C}$, и при максимальной температуре $42\text{--}45\text{ }^{\circ}\text{C}$ формируется наихудший тепловой дискомфорт.

Натурные исследования позволили определить зависимость максимальных температур наружного и внутреннего воздуха помещений при их разной ориентации.

Графики, составленные на основе полученных результатов, наглядно показывают, что модель конвективных потоков пристенного микроклиматического слоя многоэтажных жилых зданий характерной ориентации обладает большей мощностью и вертикальной подвижностью, обуславливающей движение воздушной массы через пространства незастроенных этажей за счет термического контраста противоположных стен. При этом также интенсифи-

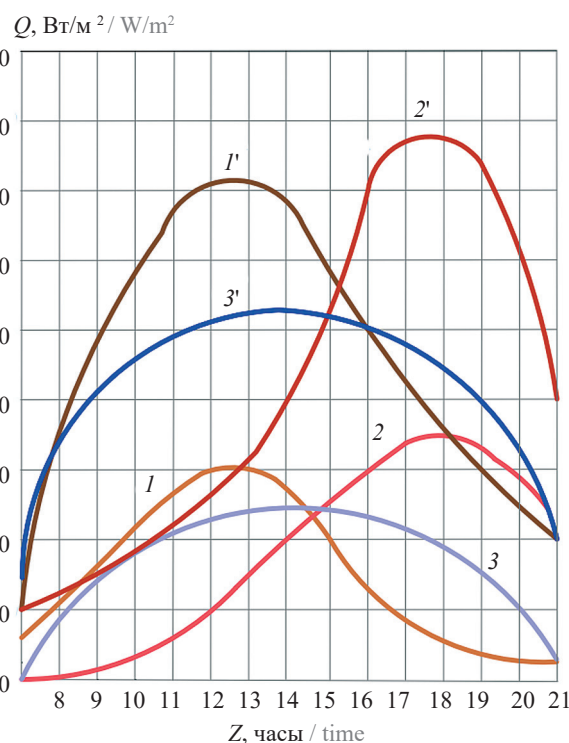


Рис. 7. Зависимость теплоотдачи стены фасадов разной ориентации от интенсивности приходящей солнечной радиации: 1, 1' — восточной; 2, 2' — западной; 3, 3' — южной

Fig. 7. Dependence between the heat transfer on the wall of the facades, having different orientations, and the solar radiation intensity: 1, 1' — east facade; 2, 2' — west facade; 3, 3' — south facade

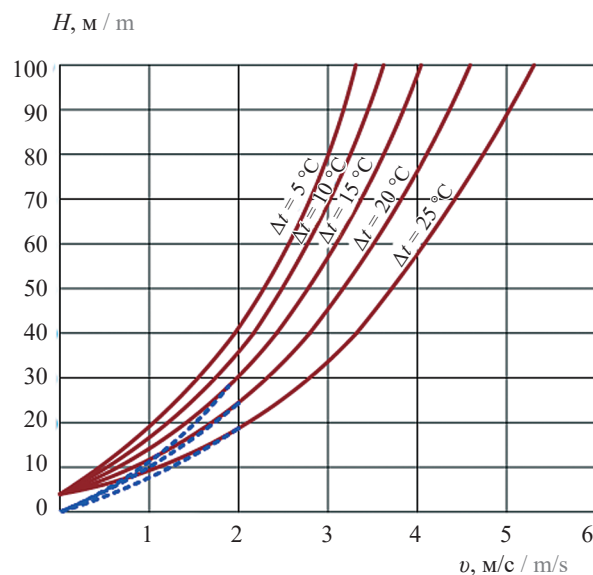


Рис. 8. Максимальная скорость восходящих потоков в пристенном слое воздуха. На рисунке отмечено начало отсчета с отметки 4 м — от нижней кромки здания и от отметки низа цоколя

Fig. 8. The maximum velocity of ascending flows in the near-wall air layer. The figure specifies the reference point of 4 m, the bottom edge of the building, and the bottom of the basement

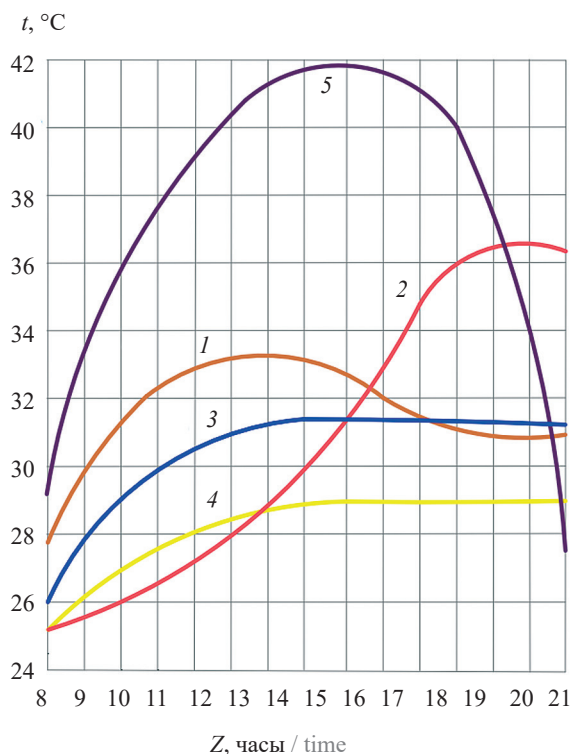


Рис. 9. График зависимости максимальной температуры наружного и внутреннего воздуха помещений разной ориентации в дневном цикле: 1 — восточной; 2 — западной; 3 — южной; 4 — северной; 5 — метеостанции

Fig. 8. The curves showing dependence between the maximal daily temperature of outdoor and indoor air in the rooms having different orientations: 1 — east; 2 — west; 3 — south; 4 — north; 5 — weather stations

фицируется естественная аэрация помещений перемещением воздуха со стороны теневых помещений в сторону инсолируемых и обеспечивается воздухообмен между внутренней и внешней средой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате натурных исследований:

- установлена взаимосвязь между термическим режимом поверхностей стен разной ориентации с соответствующей теплоотдачей при инсоляции с температурой и скоростью восходящих и нисходящих потоков пристенного слоя воздуха;
- получены качественные и количественные характеристики скорости восходящих и нисходящих конвективных потоков, обуславливающие теплофизические свойства конструктивной теплозащитной оболочки зданий, микроклимат пристенного слоя, помещения, незастроенного первого этажа зданий в перегревном дневном цикле. При этом установлено, что развивающаяся скорость пристенного конвективного потока является функцией термического режима конструктивной оболочки зданий, формирующегося при условии инсоляции и ее энергетической активности;

• определены изменения температуры поверхности стены, температуры и скорости пристенных конвективных потоков по всей высоте стен зданий характерной ориентации, которые послужат исходными показателями для расчета воздухообмена между внутренней и внешней средой и аэрации помещений, при проектировании воздухозаборных устройств, расположенных на разных высотах, определении воздухопроницаемости стеновых ограждающих конструкций;

• составлен алгоритм исследования теплофизических процессов, формирующихся в микроклиматическом слое воздуха стен зданий при условии инсоляции и энергоактивности стен, который позволяет оценить естественное проветривание пристенного слоя и аэрацию помещений зданий, а также пространство первого незастроенного этажа за счет теплового напора;

• выявлен механизм теплофизических процессов пристенного микроклиматического слоя и вследствие взаимосвязи между внешней и внутренней температурой воздуха помещений при термическом контрасте стен фасадов разной ориентации, определяющий предпосылки для поиска конструктивного решения теплозащитной оболочки зданий с рациональными фасадными системами и вариантами решений пластики фасадов;

• установлена зависимость максимальной скорости восходящих потоков, развивающихся в пристенном слое воздуха на произвольной высоте, от степени термического нагрева поверхностей стен.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гагарин В.Г., Козлов В.В. О комплексном показателе тепловой защиты оболочки зданий // АВОК: вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2010. № 4. С. 52–61.
2. Умнякова Н.П. Развитие теории расчета и проектирования ограждающих конструкций с учетом специфики внешних воздействий и отражательных свойств материалов : автореф. на соискание ученой степени д-ра техн. наук. М., 2019. 40 с.
3. Табунчиков Ю.А., Бродач М.М., Шилкин Н.В. Энергоэффективные здания. М. : АВОК-пресс, 2003. 192 с.
4. Гиясов А. Тепло-ветровой режим городского каньона, взаимосвязь его с воздушной средой помещений // Инженерный вестник Дона. 2018. № 1 (48). С. 144.
5. Гиясов Б.И. Роль солнечной радиации в формировании тепло-ветрового режима междомового пространства // Вестник МГСУ. 2012. № 3. С. 12–15.
6. Blázquez T., Suárez R., Sendra Ju.J. Protocol for assessing energy performance to improve comfort conditions in social housing in a spanish southern city // International Journal of Energy Production and Management. 2017. Vol. 2. Issue 2. Pp. 140–152.
7. Cheng Y., Nin J., Gao N. Thermal comfort models: A review and numerical investigation // Building and Environment. 2012. Vol. 47. Issue 1. Pp. 13–22. DOI: 10.1016/j.buildenv.2011.05.011
8. Gıyasov A. Regulation of the microecological environment of residential buildings in southern cities with a hot-calm climate condition // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 193. Issue 10. P. 03036. DOI: 10.1051/mateconf/201819303036
9. Kensek K., Hansanuwat R. Environment control systems for sustainable design: a methodology for testing, simulating and comparing kinetic facade systems // Journal of Creative Sustainable Architecture & Built Environment. 2011. Vol. 1. Pp. 27–45.
10. Bacha C.B., Bourbia F. Effect of kinetic facades on energy efficiency in office buildings — hot dry climates // 11th Conference on Advanced Building Skins. 2016. Pp. 458–468.
11. Горниак Ю.Г. Применение фасадных систем в жилищно-гражданском строительстве // Энергоснабжение. 2003. № 4. С. 28–30.
12. Стецкий С.В., Ходейр В.А. Эффективные солнцезащитные устройства в гражданском строительстве регионов с жарким солнечным климатом // Вестник МГСУ. 2012. № 7. С. 9–15.
13. Горомосов М.С. Микроклимат жилищ и его гигиеническое нормирование. М. : Медгиз, 1963. 134 с.
14. Gıyasov A. The role of the solar irradiation plate for estimation of the insolation regime of urban territories and buildings // Light & Engineering. 2019. Vol. 27. Issue 2. Pp. 111–116. DOI: 10.33383/2018-032
15. Rizk A.A., Henze G.P. Improved airflow around multiple rows of buildings in hot arid climates // Energy and Buildings. 2010. Vol. 42. Issue 10. Pp. 1711–1718. DOI: 10.1016/j.enbuild.2010.05.005
16. Кузнецов В.А., Кожевников В.П. Математическая модель свободной конвекции воздуха в комнате // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2008. № 7–8. С. 15–27.
17. Zemitis Ju., Bogdanovics R. Heat recovery efficiency of local decentralized ventilation device at various pressure differences // Magazine of Civil Engineering. 2020. № 2 (94). Pp. 120–128. DOI: 10.18720/MCE.94.10
18. Исаев С.И., Кожин И.А., Кофанов В.И. и др. Теория тепломассообмена: учебник для вузов. М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. 448 с.
19. Прандтль Л. Гидроаэромеханика / пер. с нем. М. : Издательство, 1951. 575 с.
20. Богословский В.Н. Строительная теплофизика. М. : Высшая школа, 1982. 415 с.
21. Гиясов А., Гиясов Б.И. Проектирование жилых зданий и ограждающих конструкций в условиях жарко-штилевого климата // Жилищное строительство. 2000. № 6. С. 24–25.

Поступила в редакцию 2 декабря 2021 г.

Принята в доработанном виде 1 марта 2022 г.

Одобрена для публикации 10 марта 2022 г.

ОБ АВТОРАХ: **Адхам Иминжанович Гиясов** — доктор технических наук, профессор кафедры проектирования зданий и сооружений; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 979847, Scopus: 57202817395, ResearcherID: T-8804-2018, ORCID: 57202817395; adham52@mail.ru;

Саидмухаммад Мирзорахимович Мирзоев — аспирант кафедры проектирования зданий и сооружений; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; saidmuhammad1995@mail.ru;

Карум Абдулрахман — аспирант кафедры проектирования зданий и сооружений; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; abdulrahman.karum@gmail.com.

Вклад авторов:

Гиясов А.И. — научное руководство, руководство экспериментом, концепция исследования, разработка методологии, написание итоговой редакции текста, итоговые выводы и заключение.

Мирзоев С.М. — постановка эксперимента и участие в проведении, обработка данных и составление графиков зависимостей, написание начального текста.

Карум Абдулрахман — обработка экспериментальных данных, участие в написании статьи, составление графиков зависимостей.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Gagarin V.G., Kozlov V.V. About the complex index of thermal protection of the building envelope. *AVOK: ventilation, heating, air conditioning, heat supply and construction thermal physics*. 2010; 4:52-61. (rus.).
2. Umnyakova N.P. *Development of the theory of calculation and design of enclosing structures, taking into account the specifics of external influences and the reflective properties of materials : Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences*. Moscow, 2019; 40. (rus.).
3. Tabunshchikov Yu.A., Brodach M.M., Shilkin N.V. *Energy efficient buildings*. Moscow, AVOKpress, 2003; 192. (rus.).
4. Giyasov A. Heat-wind regime of the urban canyon, its relationship with the air environment of the premises. *Engineering Journal of Don*. 2018; 1(48):144. (rus.).
5. Giyasov B.I. Role of solar radiation in formation of thermal and wind conditions of the inter building space. *Vestnik MGSU [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]*. 2012; 3:12-15. (rus.).
6. Blázquez T., Suárez R., Sendra Ju.J. Protocol for assessing energy performance to improve comfort conditions in social housing in a Spanish southern city. *International Journal of Energy Production and Management*. 2017; 2(2):140-152.
7. Cheng Y., Nin J., Gao N. Thermal comfort models: A review and numerical investigation. *Building and Environment*. 2012; 47(1):13-22. DOI: 10.1016/j.buildenv.2011.05.011
8. Giyasov A. Regulation of the microecological environment of residential buildings in southern cities with a hot-calm climate condition. *MATEC Web of Conferences*. 2018; 193(10):03036. DOI: 10.1051/mateconf/201819303036
9. Kensek K., Hansanuwat R. Environment control systems for sustainable design: A methodology for testing, simulating and comparing kinetic facade systems. *Journal of Creative Sustainable Architecture & Built Environment*. 2011; 1:27-45.
10. Bacha C.B., Bourbia F. Effect of kinetic facades on energy efficiency in office buildings — hot dry climates. *11th Conference on Advanced Building Skins*. 2016; 458-468.
11. Gorniak Yu.G. The use of facade systems in housing and civil construction. *Energoberezhenie*. 2003; 4:28-30. (rus.).
12. Stetskiy S.V., Khodeir W.A. Effective Sun Protection Devices in the Civil Engineering of Hot and Sunny Regions. *Vestnik MGSU [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]*. 2012; 7:9-15. (rus.).
13. Goromosov M.S. *Microclimate of dwellings and its hygienic regulation*. Moscow, Medgiz, 1963; 134. (rus.).
14. Giyasov A. The role of the solar irradiation plate for estimation of the insolation regime of urban territories and buildings. *Light & Engineering*. 2019; 27(2):111-116. DOI: 10.33383/2018-032
15. Rizk A.A., Henze G.P. Improved airflow around multiple rows of buildings in hot arid climates. *Energy and Buildings*. 2010; 42(10):1711-1718. DOI: 10.1016/j.enbuild.2010.05.005
16. Kuznetsov V.A., Kozhevnikov V.P. Mathematical model of free convection of air in a room. *Proceedings of higher educational institutions. Problems of energy*. 2008; 7-8:15-27. (rus.).
17. Zemitis Ju., Bogdanovics R. Heat recovery efficiency of local decentralized ventilation device at various pressure differences. *Magazine of Civil Engineering*. 2020; 2(94):120-128. DOI: 10.18720/MCE.94.10
18. Isaev S.I., Kozhinov I.A., Kofanov V.I. et al. *Theory of heat and mass transfer: textbook for universities*. Moscow, MSTU named after N.E. Bauman, 2017; 448. (rus.).
19. Prandtl L. *Hydroaeromechanics*. Translated from German. Moscow, Izdatinlit, 1951; 575. (rus.).
20. Bogoslovsky V.N. *Building thermal physics*. Moscow, Higher school, 1982; 415. (rus.).
21. Giyasov A., Giyasov B.I. Design of residential buildings and enclosing structures in a hot and calm climate. *Housing Construction*. 2000; 6:24-25. (rus.).

Received December 2, 2021.

Adopted in revised form on March 1, 2022.

Approved for publication on March 10, 2022.

BIONOTES: Adham I. Giyazov — Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Design of Buildings and Facilities; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 979847, Scopus: 57202817395, ResearcherID: T-8804-2018, ORCID: 57202817395; adham52@mail.ru;

Saidmukhammad M. Mirzoev — postgraduate student of the Department of Design of Buildings and Facilities; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; saidmuhammad1995@mail.ru;

Karum Abdulrahman — postgraduate student of the Department of Design of Buildings and Facilities; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; abdulrahman.karum@gmail.com.

Contributions of the authors:

Giyazov A.I. — scientific leadership, experiment guidance, concept of research, development of methodology, writing the final version of the text, final conclusions and conclusion.

Mirzoev S.M. — setting up an experiment and participating in the conduct, data processing and plotting of dependencies, writing the initial edition.

Karum Abdulrahman — processing of experimental data, participation in the writing of the editorial board, plotting dependencies.

The authors declare no conflicts of interest.

Концепция разработки модели программы по научно-техническому сопровождению жизненного цикла уникальных зданий с большим заглублением

Азари́й Абрамови́ч Лапи́дус, Дми́трий Влади́мирович Топчи́й,
Ири́на Серге́евна Ше́вченко

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Научно-техническое сопровождение (НТС) выступает инструментом контроля качества и обеспечения безопасности при реализации уникальных зданий и сооружений, имеющих повышенный уровень ответственности. Однако, наряду с отсутствием утвержденных положений о проведении этого вида работ только на стадиях инженерных изысканий, проектирования и строительства, отсутствует конкретика выполняемых работ для зданий и сооружений с большим заглублением. Цель исследования — разработка модели программы, которая обеспечит автоматизированный выбор работ согласно предлагаемым параметрам для уникальных зданий и сооружений с большим заглублением.

Материалы и методы. Предложена поэтапная разработка модели программы по НТС уникальных зданий и сооружений с большим заглублением, в основу которой положены: комплексный анализ современных нормативных документов и существующих идей для совершенствования процесса НТС, формирующий общую базу работ по НТС; установлены общие и специальные параметры выбора работ из общей базы данных, которые соответствуют рассматриваемому типу уникального объекта; отражена необходимость указанных параметров при разработке модели программы и дальнейшего использования.

Результаты. Разработана модель работы программы по НТС жизненного цикла уникальных зданий и сооружений с большим заглублением, отражающая действия пользователей программы, работу программы, работу с параметрами и внутреннее взаимодействие программы с базой данных.

Выводы. Представленные этапы разработки модели программы НТС не только автоматизируют выбор работ, согласно установленным общим и специальным параметрам, для выполнения в рамках НТС, но также позволяют совершенствовать научно-техническое сопровождение в целом.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: научно-техническое сопровождение, жизненный цикл, стадии жизненного цикла, уникальные здания и сооружения, подземное строительство, параметры выбора работ, база данных работ

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Липидус А.А., Топчий Д.В., Шевченко И.С. Концепция разработки модели программы по научно-техническому сопровождению жизненного цикла уникальных зданий с большим заглублением // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 3. С. 298–313. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.3.298-313

Автор, ответственный за переписку: Ирина Сергеевна Шевченко, isshev@mail.ru.

The concept for developing a programme model for the scientific and technical support of lifecycles of unique deeply embedded buildings

Azariy A. Lapidus, Dmitry V. Topchiy, Irina S. Shevchenko

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

ABSTRACT

Introduction. Scientific and technical support (STS) serves as a quality control tool and a safety assurance instrument employed in the process of construction of unique buildings and structures having higher levels of importance. However, along with the lack of approved provisions on performance of these types of work at the stages of engineering surveys, design and construction, no scope of work is specified for deeply embedded buildings and structures. The aim of the study is to develop a model of a programme that will ensure the automated selection of works on the basis of pre-set parameters for of unique deeply embedded buildings and structures.

Materials and methods. The authors propose a step-by-step development pattern for an STS support programme model for unique deeply embedded buildings and structures. A step-by-step development of the model of a program for scientific and technical support of unique buildings and structures with the large deepening is proposed, which is based on: a comprehensive analysis of modern regulatory documents and existing ideas for improving the process of scientific and technical support, which forms a database of works of STS; general and special parameters for selecting works from a database of works have been established, which correspond with the under consideration type of unique object; the need for these

parameters is reflected in the development of the model of a program and further use. The authors have proven the need to use these parameters in the process of developing the programme model.

Results. The programme model of STS support for unique deeply embedded buildings and structures tracks the actions taken by its users, the programme operation, the use of parameters by the programme, as well as internal interactions between the programme and the database.

Conclusions. The presented stages of developing a programme model will not only computerize the selection of works on the basis of general and special parameters within the framework of STS, they will also improve the STS support in general.

KEYWORDS: scientific and technical support, life cycle, life cycle stages, unique buildings and structures, underground construction, parameters of work selection, database of works

FOR CITATION: Lapidus A.A., Topchiy D.V., Shevchenko I.S. The concept for developing a programme model for the scientific and technical support of lifecycles of unique deeply embedded buildings. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2022; 17(3):298-313. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.3.298-313 (rus.).

Corresponding author: Irina S. Shevchenko, isshev@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Глобальная урбанизация, включая рост городского населения, выступает основной движущей силой, которая влияет на быстрое развитие городов по всему миру [1]. Согласно мировой статистике (рис. 1, а), годовая процентная доля населения в мире¹, проживающего в середине года в городских районах, равна 56,6 %, при этом ожидается, что к 2040 г. эта цифра достигнет 64,5 %. В Российской Федерации сегодня 74,9 % населения проживает в городских районах (рис. 1, б).

Сложившиеся обстоятельства, обусловленные ростом городского населения, ставят перед экспертами в области строительства задачу увеличения городских территорий. Одним из способов реформирования тесной и перенаселенной городской среды является вертикальное планирование городского пространства. Высотное строительство давно стало уверенной тенденцией развития и оптимизации городских территорий во всем мире. Однако стоит отметить, что строительство зданий и сооружений большой высоты, кроме решения ряда общих проблем реализации уникальных строительных объектов, например, обеспечение безопасности при строительстве [2], влечет за собой решение таких вопросов, как соблюдение

историко-культурного сложившегося облика территории строительства и комплексности застройки, сочетая объекты различного функционального назначения в строящемся высотном здании [3].

Альтернативный способ решения поставленной задачи — рациональное и комплексное использование подземного пространства городских территорий. Например, размещение под землей транспортных коммуникаций, сооружений различного целевого назначения (торговля, общественное питание) [4], административных и гражданских зданий. Объекты строительства с большим заглублением относятся к уникальным строениям, их уникальность определяется рядом осложняющих факторов: большой объем инженерно-изыскательских работ; сложившиеся геологические и гидрогеологические условия; увеличение давления грунта на подземную часть здания, ведущую к учету дополнительных нагрузок; применение новых технологий при реализации уникальных проектных решений; усложнение организации строительного производства, в особенности при возведении объекта в условиях плотно сложившейся городской застройки; стесненные условия, а также другие конструктивные и организационно-технологические особенности.

¹ United Nations. Department of Economic and Social Affairs, Population Dynamics. URL: <https://population.un.org/wup/DataQuery/>

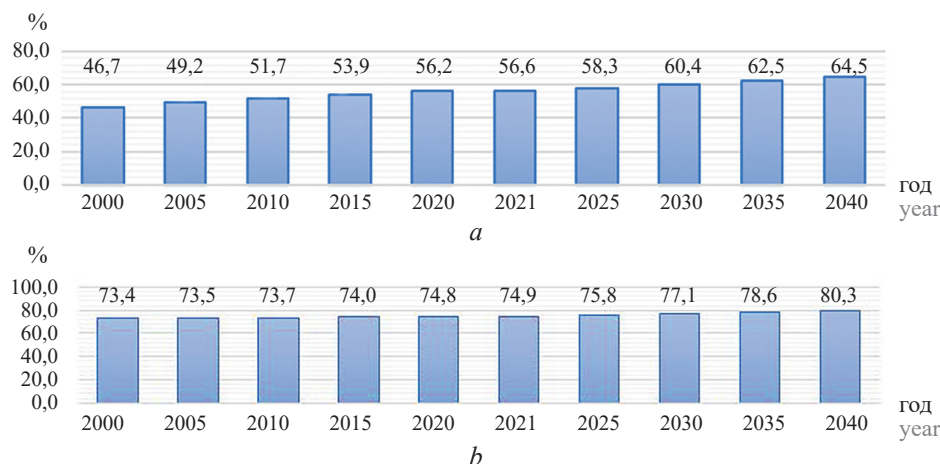


Рис. 1. Годовая процентная доля населения, проживающего в городских районах в мире (а); годовая процентная доля населения, проживающего в городских районах в РФ (б)

Fig. 1. Annual percentage of the world's urban population (a); annual percentage of urban population in the Russian Federation (b)

Но все же потенциал подземных пространств стараются эффективно осваивать в мире, главная задача при реализации такого рода проектных решений — обеспечение комплексной безопасности [5] и контроля качества как при строительстве объектов, так и при дальнейшей их эксплуатации [6, 7].

Инструментом контроля качества работ в целях обеспечения дальнейшей безопасности и функциональной пригодности уникальных сооружений с большим заглублением может выступать научно-техническое сопровождение (далее — НТС), проводимое специализированными организациями², которые следует привлекать на все этапы жизненного цикла (ЖЦ) зданий и сооружений. Специализированные организации должны располагать сертифицированным оборудованием и программным обеспечением, а также квалифицированными и опытными научными кадрами³, основным направлением деятельности которых служит выполнение комплекса различных работ по НТС в целях независимого контроля качества на различных стадиях ЖЦ непосредственными участниками строительного производства, направленных на обеспечение безопасности конечной строительной продукции.

Согласно Градостроительному кодексу Российской Федерации⁴, к уникальным объектам с большим заглублением относятся здания и сооружения с заглублением подземной части полностью или частично ниже планировочной отметки земли более чем на 15 м. Данный федеральный закон регламентирует общий перечень объектов капитального строительства (ОКС), имеющих статус «уникальные», сюда также входят здания и сооружения, обладающие одной из следующих характеристик: высота более 100 м, пролеты более 100 м, наличие консоли более 20 м.

При реализации объектов использования атомной энергии НТС является неотъемлемой частью на всем ЖЦ особо опасного и технического сложного объекта⁵. Основные задачи — инженерно-техническая поддержка, обеспечение соответствующего состояния эксплуатации на уровне поставленных целей по безопасности и эффективности, а также поиск решений для проблемных участков эксплуатации, что позволяет выдавать рекомендации для повышения безопасного и эффективного функционирования атомной электрической станции. Результат этой работы — прогнозирование и устранение проблем до их возникновения или проявления недостатков в работе⁶.

Но для зданий гражданского назначения, которые осложнены уникальными проектными решениями, и также, как и объекты использования атомной энергии, относятся к зданиям повышенного уровня ответственности⁷, существующей информации о проведении НТС недостаточно, а регламента выбора конкретных выполняемых работ и действий не существует.

Реализация рассматриваемого типа уникальных проектов требует особого внимания к любым принятым решениям и выполненным работам на всем ЖЦ ОКС [8, 9], потому что от продуманной идеи, анализа исходных данных, распланированного бюджетирования и технического задания на создание проекта на предпроектной стадии, проведенных исследований геологической составляющей будущей площадки строительства на стадии инженерных изысканий [10], точности выполнения проектных расчетов, соблюдения технологий и соответствующего качества выполнения работ при строительстве [11] зависят жесткость, надежность, долговечность и безопасность конструкций и составляющих элементов объекта. И после ввода уникального объекта в эксплуатацию следует обеспечивать безопасность возведенных конструкций. Авторами данного исследования приняты шесть стадий ЖЦ (рис. 2).

В существующих современных нормативно-правовой и нормативно-технической базах документации РФ, наряду с указанием о необходимости научно-технического сопровождения на трех стадиях ЖЦ (инженерные изыскания, проектирование и строительство), отмечен дефицит информации о применяемых инструментах при проведении НТС, конкретных работах, составляющих комплекс работ по НТС, и не доказана обязательность осуществления НТС на стадиях предпроектной подготовки, эксплуатации и демонтажа ЖЦ, на которые также могут привлекаться специализированные организации для НТС уникальных зданий и сооружений с большим заглублением [12]. Также отсутствует единый нормативный документ [13, 14], регламентирующий выполнение необходимых и достаточных работ по НТС. На рис. 3 представлена основная информация, которая имеется и отсутствует в законодательстве РФ в части проведения НТС.

Цель настоящего исследования — разработать модель программы, работа которой будет основана на автоматизированном выборе из базы данных необходимого и достаточного перечня работ для выпол-

² СП 48.13330.2019. Организация строительства СНиП 12-01-2004. М., 2020.

³ СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83* (с изменениями 1, 2, 3). М., 2016.

⁴ Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 № 190-ФЗ (ред. от 02.07.2021).

⁵ Всероссийский научно-исследовательский институт эксплуатации атомных электростанций (ВНИИАЭС). URL: <https://vniiaes.ru/en/activities/nauchno-tehnicheskaya-podderzhka/>

⁶ IAEA-TECDOC-1835. Technical and Scientific Support Organizations Providing Support to Regulatory Functions. Vienna, 2018.

⁷ Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : Федеральный закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ.

Предпроектная подготовка Pre-project planning	Инженерные изыскания Engineering surveys	Проектиро- вание Design	Строительство Construction	Эксплуатация Building operation	Демонтаж Demolition
- Получение исходных данных о строительном объекте Obtaining initial data about a construction facility - Разработка технико-экономического обоснования будущего проекта Development of a feasibility study for a future project - Разработка основных технических решений Development of basic technological solutions - Составление технического задания на проведение инженерных изысканий и проектирование объекта Drafting a request for proposal for engineering surveys and the facility design	- Исследование основных составляющих условий будущей строительной площадки (геология, гидрогеология, экология) A study on the main constituents of conditions of the future construction site (geology, hydrogeology, ecology) - Расчет максимально возможной зоны влияния проектируемого здания Analysis of the maximal area of influence of a designed building - Проведение полевых и лабораторных испытаний грунтов Field and laboratory testing - Прогноз изменений несущих свойств грунтов Projected changes in the bearing properties of soils	- Разработка проектных решений Development of design solutions - Прохождение государственной экспертизы комплекта проектной документации, включая результаты инженерных изысканий The state expert review of the design documentation, including the results of engineering surveys - Разработка рабочей документации Development of construction design documents	- Выполнение строительно-монтажных работ Installation and construction works - Ввод объекта в эксплуатацию Construction facility commissioning	- Мониторинг технического состояния объекта Monitoring the technical condition of the construction facility - Капитальный ремонт или реконструкция Major repairs or reconstruction	- Разборка конструкций здания Dismantling of building structures - Утилизация материалов Reclamation of material

Рис. 2. Стадии жизненного цикла объектов строительства

Fig. 2. Life cycle stages of construction facilities

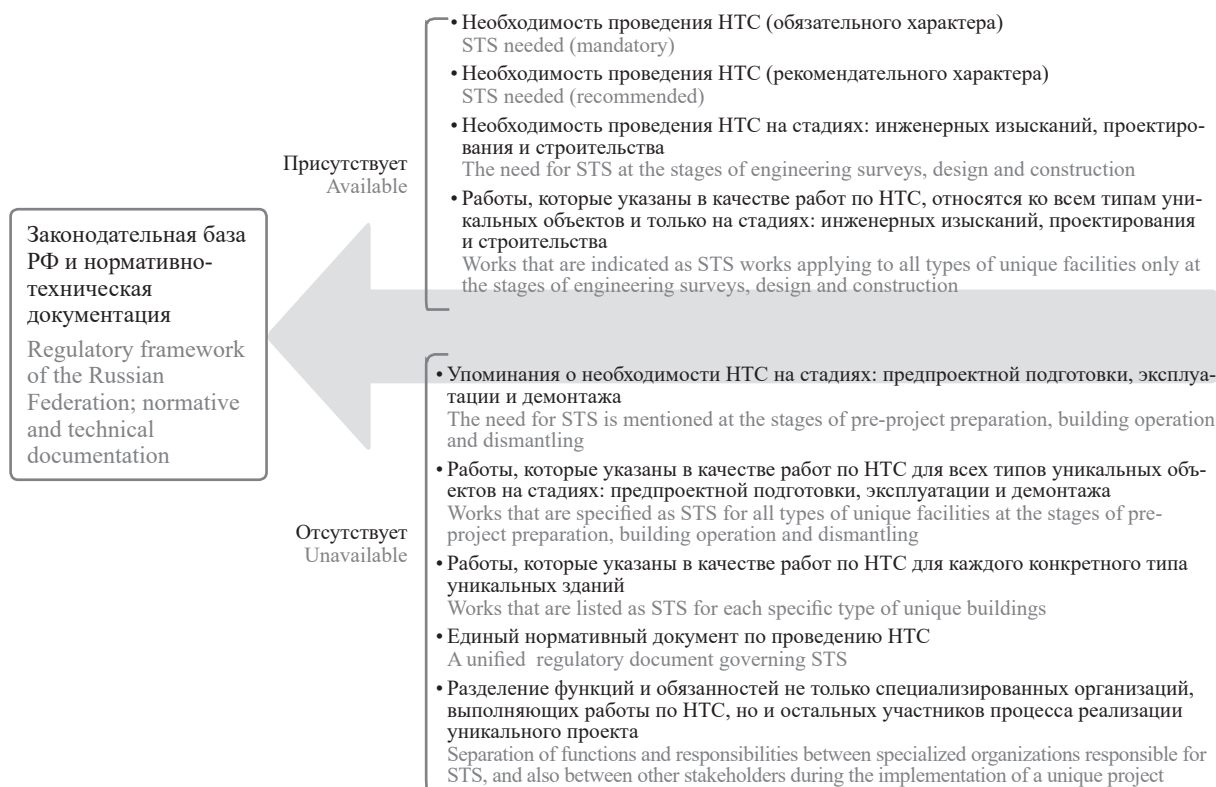


Рис. 3. Состояние законодательной базы РФ и нормативно-технической документации в части работ по НТС

Fig. 3. The state of the regulatory framework of the Russian Federation, the normative and technical documentation regulating STS works

нения НТС, и будет учитывать вводимые значения параметров, отражающие особенности реализации конкретного уникального здания или сооружений с заглублением подземной части более 15 м.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Существующие методы и опыт

В ходе анализа нормативно-правовой и нормативно-технической баз документации в отношении реализации уникальных ОКС отмечены два документа^{8, 9}, в которых отражены рекомендации и методические указания по научно-техническому сопровождению строительства (далее — НТСС) уникальных зданий и сооружений для обеспечения надлежащего качества и безопасности строительных объектов за счет применения прогрессивных технических решений и научных методов, а также решения технических вопросов на всех стадиях строительства. Авторы статьи не исключают возможности использования материалов, изложенных в рекомендациях и пособии, при формировании перечня работ для НТСС, так как документы разработаны в 2008 г. и содержат примерный перечень работ, которые могут быть включены в программу НТСС, а также некоторое время являлись опорными при решении ряда практических целей и задач по осуществлению НТС. Но со временем, полученным опытом реализации уникальных проектных решений и при анализе указанных документов были выделены некоторые аспекты, которые на сегодняшний день начинают отражать нехватку апробированных данных и терять актуальность предлагаемых подходов в современном практическом применении такого инструмента обеспечения надлежащего качества и безопасности при реализации таких уникальных зданий, как НТС, например:

- наблюдается повторяемость сути основных требований к научно-техническому сопровождению и рекомендаций, направленных на разработку программ работ НТСС, описанных в обоих документах;
- недостаточно указаны требования к специализированным организациям, осуществляющим НТС, и к специалистам, которые выполняют комплекс работ согласно программе НТС;
- содержатся незначительные разночтения терминов и определений, используемых при разработке программ по НТСС, в части взаимодействия специализированных организаций, выполняющих комплекс работ по НТСС, и других участников стро-

ительного процесса, а следовательно, отсутствует единство понимания требований к НТС;

- анализируемые технические рекомендации и пособие в соответствии с Постановлением Правительства РФ¹⁰ не входят в перечень национальных стандартов и сводов правил, в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона⁷;

- область применения рассматриваемых документов касается исключительно стадии строительства ЖЦ строительного объекта и не охватывает те стадии, которые упоминаются в ряде нормативно-правовых и нормативно-технических документов, а именно инженерные изыскания и проектирование²;

- документы содержат рекомендации и положения, относящиеся ко всем типам уникальных объектов, без конкретного выделения особенностей проектирования, строительства, эксплуатации регламентированных законодательством зданий и сооружений с уникальными характеристиками;

- накопленный со временем опыт реализации уникальных идей не отражен в данных документах, а предлагаемые рекомендации и методология не актуализируются;

- рекомендации и методология, согласно общим положениям, относятся к уникальным объектам, реализуемым в г. Москва.

При изучении опыта проведения НТС на уникальных объектах, а именно программ НТСС, программ геотехнического и технического мониторингов, также отмечается отсутствие единства подходов к осуществлению НТС, учету особенностей уникальных характеристик ОКС и расширению деятельности специализированных организаций, выполняющих комплекс работ по НТС на различных стадиях ЖЦ.

Предлагаемая концепция

Согласно произведенному анализу современной законодательной базы РФ и нормативно-технической документации, существующих документов и реализованным подходам к проведению НТС уникальных объектов, авторы пришли к выводу о том, что необходимо рассмотреть создание автоматизированной программы, которая позволила бы совместить в себе все возможные организационно-технологические аспекты НТС и стала бы приоритетным направлением для дальнейших исследований в данной области строительства.

С целью разработки модели программы следует выделить существующие работы для проведения

⁸ Технические рекомендации по научно-техническому сопровождению и мониторингу строительства большепролетных, высотных и других уникальных зданий и сооружений: ТР 182-08 : утв. в ГУП «НИИМстрой»: введ. 14.08.2008. М., 2008.

⁹ Пособие по научно-техническому сопровождению и мониторингу строящихся зданий и сооружений, в том числе большепролетных, высотных и уникальных. Первая редакция: МРДС 02-08 : утв. в ОАО «КТБ ЖБ»: введ. 01.01.2008. М., 2008.

¹⁰ Об утверждении перечня национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» : Постановление Правительства РФ от 28.05.2021 № 815.

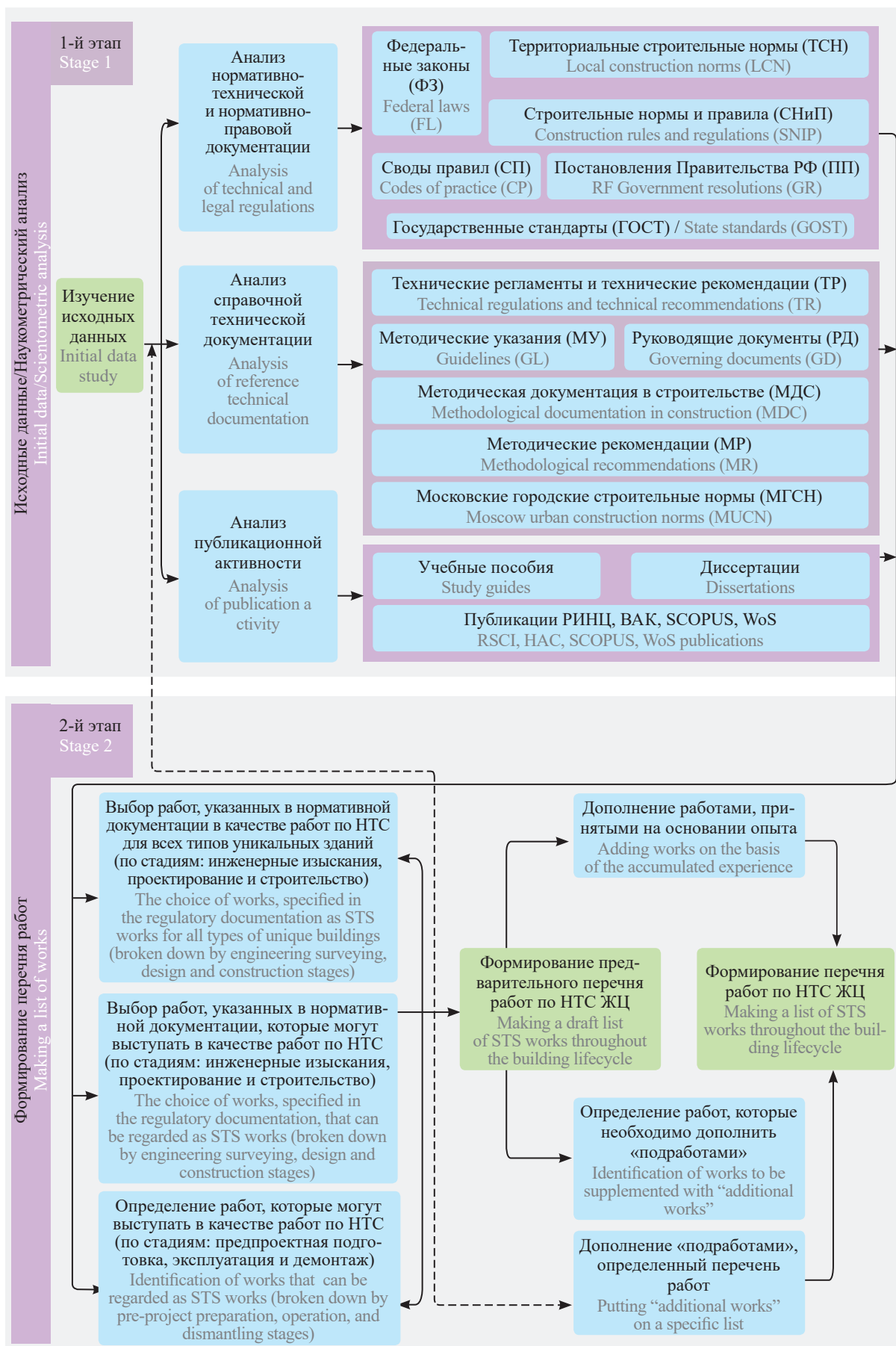


Рис. 4. Процесс формирования перечня работ по НТС ЖЦ

Fig. 4. The process of making a list of STS works throughout the lifecycle of construction facilities

НТС и работы, относящиеся к уникальным объектам строительства, которые могут проводиться в рамках НТС, а также те, которые могут выполняться на основании полученного опыта. На рис. 4 приведена схема формирования перечня работ по НТС.

На первом этапе модели (рис. 4) необходимо ознакомиться и выделить все исходные данные, на основании которых возможно сформировать перечень работ по НТС. Анализ законодательной базы по рассматриваемому вопросу определит работы, которые указаны для проведения НТС и могут быть включены при формировании перечня работ. Наукотрический анализ позволит оценить уровень развития указанной темы в современной науке и исследовательскую активность, а также выделить те пробелы, которые стоит учесть и предложить решение по их минимизации.

При создании перечня работ по НТС ЖЦ на втором этапе происходит выбор работ для каждой из шести рассматриваемых стадий на основании анализа, проведенного на первом этапе, а также используются знания и результаты такого рода деятельности, полученные путем личного опыта, что может являться непосредственным вкладом авторов. На рис. 5 показана малая часть примеров работ, которые были приняты в качестве работ комплекса НТС, и их выбор основан на анализе исходной информации и личном опыте.

На рис. 4 один из шагов — «определение работ, которые необходимо дополнить «подработками», под этим процессом подразумевается, что есть ряд таких работ, к примеру геотехнический мониторинг, представленный на этапе строительства на рис. 5 и являющийся современным диагностическим под-

Предпроектная подготовка Pre-project preparation	• Сопровождение разработки концептуальных предложений Support of the development of conceptual proposals • Разработка коммерческого предложения организацией, выполняющей НТС Development of a commercial proposal by an organization performing STS support • Представление сведений о наличии в организации необходимого оборудования для выполнения работ по НТС (оборудование для выполнения испытаний материалов, конструкций, элементов, узлов; аэродинамическая труба) Submission of information on the availability of the equipment needed to perform STS (testing of materials, structures, elements, assemblies; a wind tunnel)	Строительство Construction	• Мониторинг за состоянием ответственных конструкций здания в процессе строительства и проведение геотехнического мониторинга Monitoring of major building structures during the construction process and geotechnical monitoring • Контроль рабочей документации, выдаваемой в производство строительно-монтажных работ Control of detailed design documentation approved for the performance of construction and installation works • Контроль качества строительно-монтажных работ (арматурных, сварочных, бетонных) Quality control of construction and installation works (reinforcing, welding, concreting)
Инженерные изыскания Engineering surveys	• Оценка и анализ материалов инженерных изысканий Evaluation and analysis of materials of engineering surveys • Оценка геологических рисков Evaluation of geological risks • Составление специальных заданий для определения изысканиями физико-механических и классификационных характеристик грунтов и массивов, при соответствующем обосновании такого рода работ Compilation of special assignments to identify the physical and classification characteristics of soils and soil bodies during surveys, and a due justification of this type of works	Эксплуатация Building operation	• Разработка системы мониторинга основных несущих конструкций построенного и введенного в эксплуатацию объекта Development of a monitoring system for critical bearing structures of a constructed and commissioned facility • Осуществление мониторинга за перемещением зданий и сооружений, находящихся в зоне влияния нового строительства Monitoring displacement of buildings and structures located in the area of influence of a new construction project
Проектирование Design	• Оценка соответствия проектной документации, действующей нормативно-правовой и нормативно-технической документации Compliance assessment of project documentation in accordance with effective technical and legal regulations • Альтернативный расчет в отличном программном комплексе от комплекса, в котором выполнялся расчет проектной организацией Alternative calculation in a software package different from the one in which the calculation was performed by the design organization • Натурное моделирование объекта строительства и проведение натурных испытаний несущих конструкций с приложением основных и особых нагрузок Full-scale modeling of a construction facility and full-scale testing of load-bearing structures using basic and special loads • Составление программ мониторинга ответственных конструкций и геотехнического мониторинга Preparation programmes of monitoring of critical structures and geotechnical monitoring	Демонтаж Dismantling	• Участие в принятии и оценке технологических решений при разработке проекта организации работ по сносу или демонтажу объекта Involvement in making and assessing technological solutions in the course of developing a demolition or dismantling plan • Разработка новой проектной документации, в состав разделов которой входит демонтаж Development of new project documentation, whose sections encompass dismantling • Сопровождение проведения демонтажных работ Support of dismantling works

Рис. 5. Примеры работ, которые могут быть выполнены при проведении НТС

Fig. 5. Examples of works that can be performed within the framework of STS

ходом [15], который требует расширения дополнительными и более узкоспециализированными работами, например:

- установка на возникающие трещины маяков в качестве индикаторов процесса трещинообразования;
- установка осадочных и деформационных марок в целях наблюдения за вертикальными и горизонтальными перемещениями возводимого объекта (осадки, вертикальные сдвиги, прогибы) и определения участков, подверженных наибольшему отклонению от первоначального положения;
- современные технологии для оценки условий и контроля состояния конструкций [16] (технологии дистанционного зондирования [17]);
- устройство пьезометрических скважин для наблюдения за уровнем грунтовых вод, находящихся в пределах возводимого объекта.

Данные «подработы» не только конкретизируют, но и создадут последовательность выполнения одной индивидуальной работы, что в дальнейшем поможет более расширенно выполнить НТС, своевременно обратить внимание на изменения в показателях и обеспечить безопасность и функциональную пригодность объекта [18].

Работы, указанные в нормативной документации как проводимые в рамках НТС, регламентируются для всех типов уникальных объектов и не классифицируются по условиям и особенностям возведения здания, строительной площадке и др. Также при формировании общего перечня работ на втором этапе происходит разделение только по стадиям ЖЦ цикла объекта строительства, и отсутствуют те работы, которые необходимы именно для зданий с большим заглублением. Поэтому авторы статьи третьим этапом (рис. 6) вводят ряд общих и специальных параметров, которые помогут пользователям и специализированным организациям в будущем формировать уточненный перечень работ по НТС для конкретных условий уникального проекта с заглублением подземной части более 15 м, а также дополняют сформированный перечень работ, который был получен на втором этапе, рядом работ. Итогом третьего этапа (рис. 6) разработки модели программы НТС ЖЦ служит создание базы данных работ по стадиям ЖЦ с учетом подработ и параметров.

Выбор параметров на третьем этапе (рис. 6) происходит на основании анализа исходных данных и личного опыта строительства уникальных зданий с большим заглублением. С учетом некоторых параметров сформированный перечень ра-

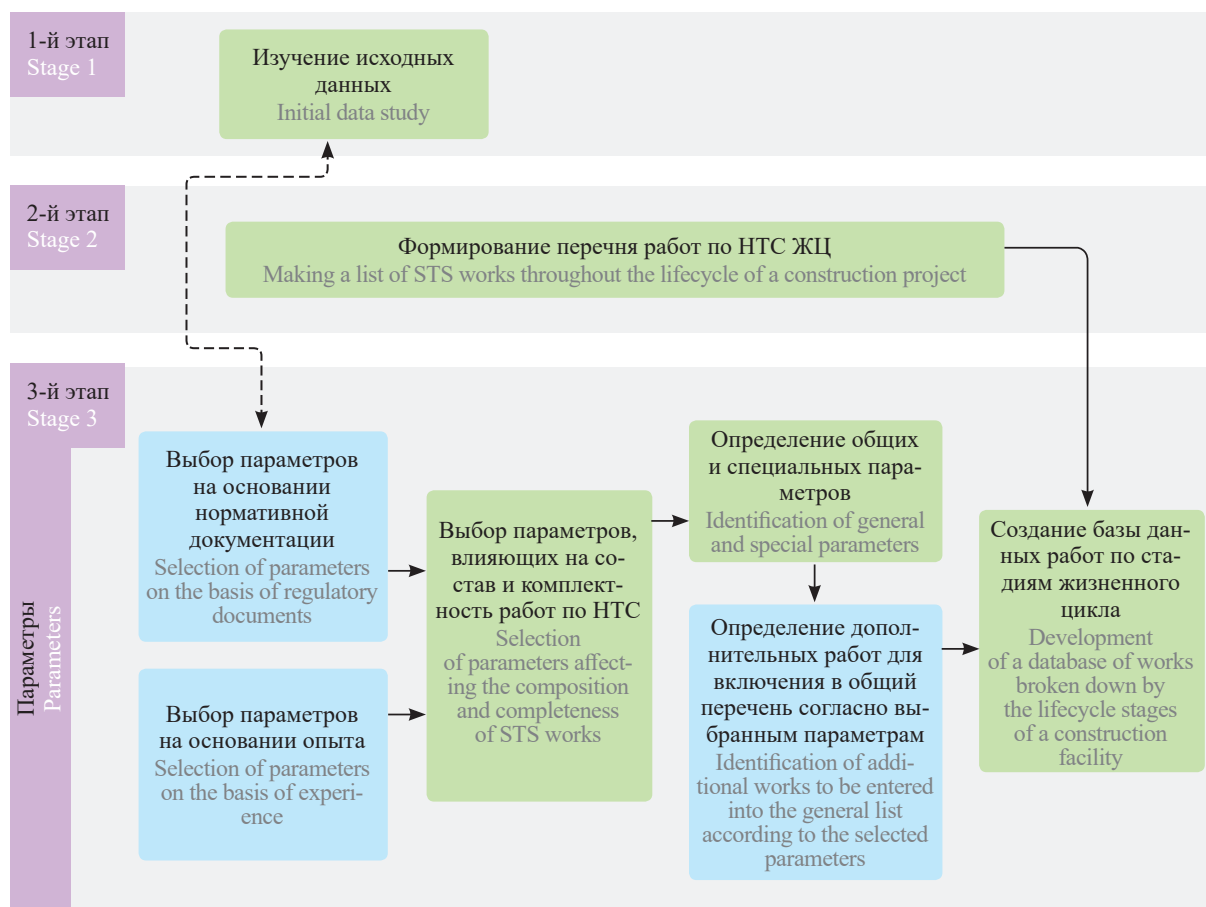


Рис. 6. Создание базы данных работ по стадиям жизненного цикла

Fig. 6. Development of a database of works by the stages of the lifecycle of a construction facility

бот на втором этапе дополняется теми работами, которые следует принимать во внимание при реализации проектов уникальных зданий и зданий с большим заглублением, но до этого они не были рассмотрены как работы процесса НТС. Также выбранные параметры разделены на общие и специальные (табл. 1).

В табл. 1 в первом разделе общим параметром является «тип уникального объекта», который содержит все типы уникальных зданий, так как предполагается, что эта база работ по НТС ЖЦ уникального объекта будет дополнена рядом параметров и соответствующими работами, предлагаемыми для НТС, других типов уникальных зданий. А параметр «объ-

Табл. 1. Выбранные общие и специальные параметры работ для уникальных зданий и сооружений с большим заглублением
Table 1. Selected general and special parameters of STS works for unique deeply embedded buildings and structures

Номер No.	Наименование параметра Parameter	Тип параметра Parameter type
1	Тип уникального объекта Type of unique facility	Общий General
	Высота более 100 м / The building height exceeds 100 m	
	Пролеты более 100 м / Spans exceed 100 m	
	Наличие консоли более 20 м / The cantilever exceeds 20 m	
	Заглубление подземной части (полностью или частично) ниже планировочной отметки земли более чем на 15 м / The underground part of the building is fully or partly 15+ m below the grade elevation	
2	Стадии жизненного цикла для выполнения работ по НТС Life cycle stages of construction facilities in terms of the STS	Общий General
	Предпроектная подготовка / Pre-project preparation	
	Инженерные изыскания / Engineering surveys	
	Проектирование / Design	
	Строительство / Construction	
	Эксплуатация / Building operation	
	Демонтаж / Dismantling	
3	Объект (или территория объектов) культурного наследия Cultural heritage facility (or area)	Общий General
	Да / Yes	
	Нет / No	
4	В зоне влияния нового строительства находится существующая застройка There are buildings in the area of influence of new construction	Общий General
	Да / Yes	
	Нет / No	

Окончание табл. 1 / End of the table 1

Номер No.	Наименование параметра Parameter	Тип параметра Parameter type
5	Категории сложности инженерно-геологических условий Geo-engineering environment of a construction facility	Специальный Special
	I (простая) / I (simple)	
	II (средняя) / II (medium)	
	III (сложная) / III (complex)	
6	Геотехническая категория объекта Geotechnical category of a facility	Специальный Special
	1	
	2	
	3	
7	Категории опасности участка строительства в карстово-суффозионном отношении Hazard categories of the construction site in terms of karst-suffusion processes	Специальный Special
	Неопасная / Not hazardous	
	Потенциально опасная / Potentially hazardous	
	Опасная / Hazardous	
8	Сейсмичность площадки строительства Seismic activity in the area of construction	Специальный Special
	Да / Yes	
	Нет / No	
9	Агрессивность воздействия окружающих сред Impact made by the environment	Специальный Special
	Присутствует / Available	
	Не присутствует / Unavailable	
10	Особенности (методы) строительства Features (methods) of construction	Специальный Special
	Шпунтовое ограждение котлована с забиркой / Shoring of excavation by sheet piling	
	Крепление стенок котлована грунтовыми анкерами / Wall bolting by ground anchorage	
	Устройство «стены в грунте» / Diaphragm wall	
	Технология струйной цементации грунтов / Jet grouting	
	Технология возведения «сверху-вниз» / The “top down” construction technology	
11	Тип фундамента Type of foundation	Специальный Special
	Свайный / Pile foundation	
	Монолитный железобетон / Cast-in-place reinforced concrete	
12	Тип конструктивных элементов Type of structural parts	Специальный Special
	Монолитный железобетон / Cast-in-place reinforced concrete	
	Сборный железобетон / Prefab reinforced concrete	

ект (или территория объектов) культурного наследия» отражает важность проведения НТС на имеющих исторически сложившуюся ценность объектах или их территориях [19].

Классификация параметров введена не только для дополнения работами создаваемой базы данных, как было показано на рис. 6 на третьем этапе, но и для дальнейшей привязки работ к каждому параметру (рис. 7) и увязки некоторых общих и специальных параметров. В дальнейшем эти параметры будут «фильтрами» при выборе работ в программу НТС ЖЦ.

Так как выполнение НТС предусмотрено техническим заданием, в котором указываются стадии ЖЦ, на которые необходимо привлекать специализированные организации, НТС может быть запрошено заказчиком только, например, на стадию проектирования. Тогда для этой стадии будет дополнительно предлагаться произвести выбор значений в специальных параметрах (связи общих параметров или специальных приведены на рис. 7).

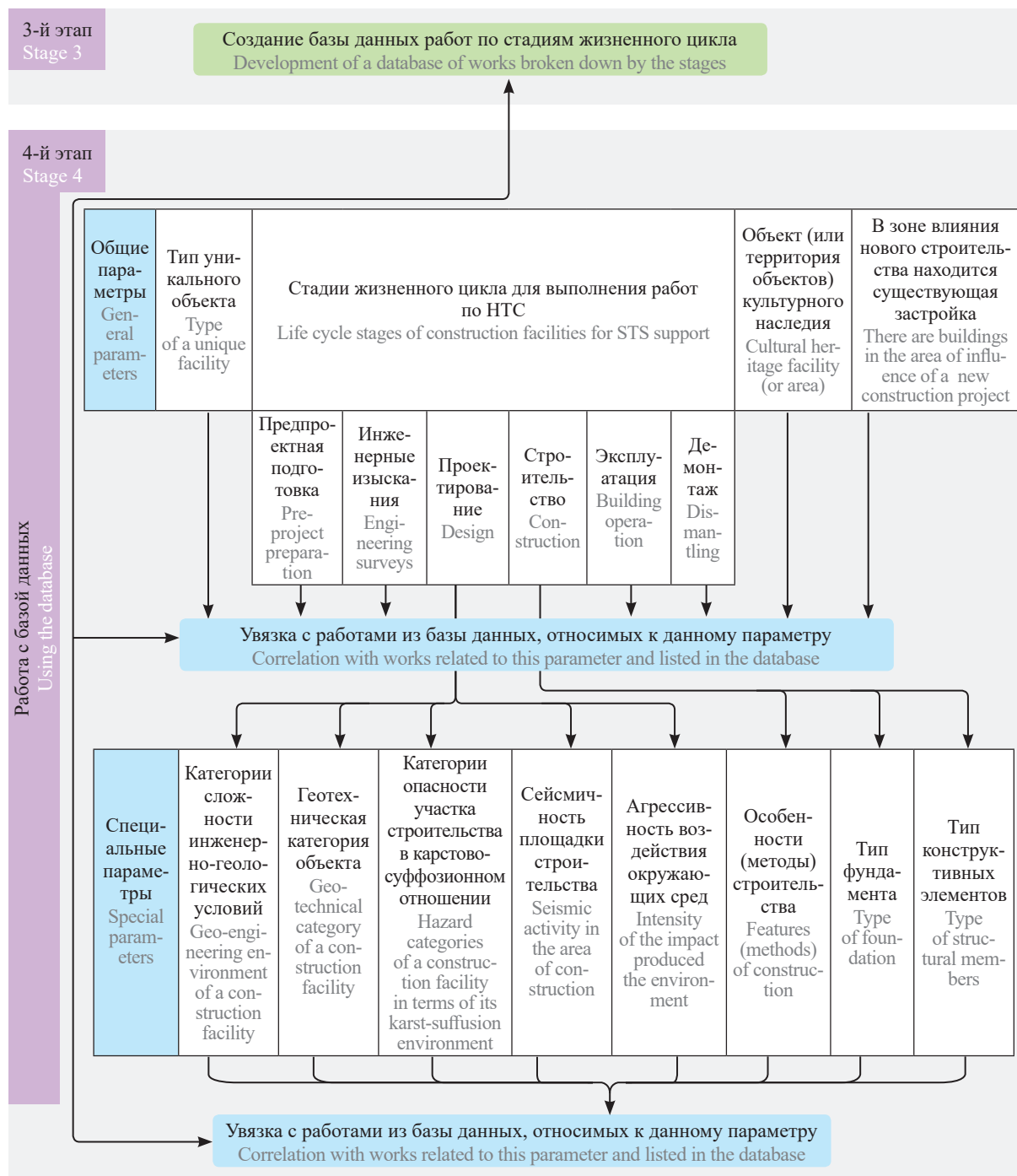


Рис. 7. Увязка параметров с работами из базы данных

Fig. 7. Correlation between parameters and database works

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Общие параметры — фиксированные и будут всегда задаваться при формировании перечня работ, специальные зависят от принятого выбора в общих параметрах. В настоящем исследовании указанные в табл. 1 специальные параметры относятся

к уникальным зданиям с заглублением более 15 м. На рис. 8 показаны модель и принципы работы программы по НТС ЖЦ уникальных зданий с большим заглублением.

Вывод работ может быть представлен в виде таблицы (табл. 2) с указанием: стадий, на которых планируется проведение комплекса работ по НТС;

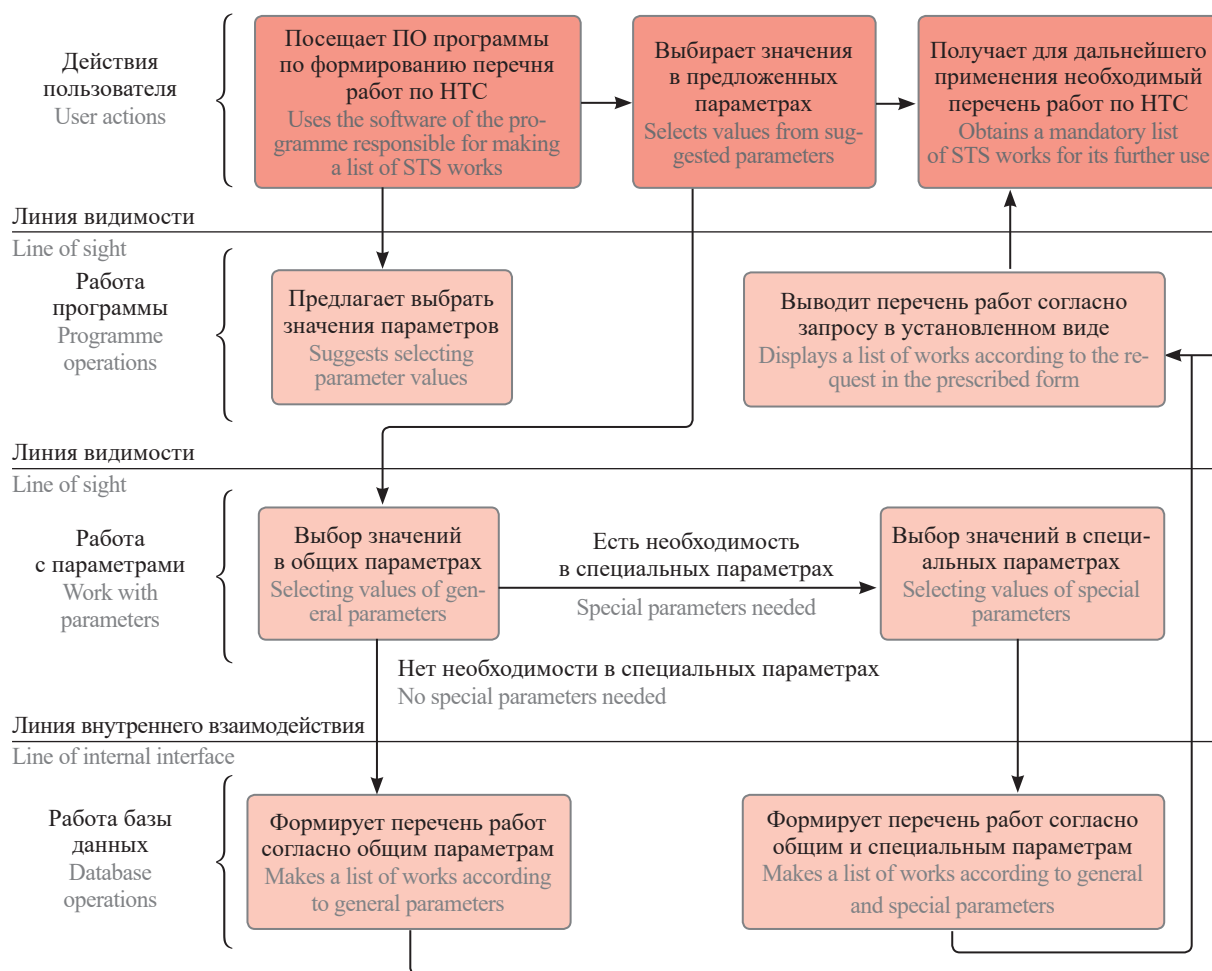


Рис. 8. Модель работы программы по НТС ЖЦ уникальных зданий с большим заглублением

Fig. 8. Operation of a programme model of the STS support of the lifecycle of deeply embedded unique buildings

Табл. 2. Пример табличной формы вывода работ по НТС

Table. 2. An example of a tabular form for displaying STS works

Стадия Life cycle stages of construction facilities	Наименование работ Works	Ссылка на нормативную документацию Reference to regulatory documents	Примечание Notes
Указываются стадии, для которых отбирались работы The stages for which the works have been selected are indicated	Указываются работы, относящиеся к каждой стадии The works related to each selected stage are indicated	Указывается нормативно-правовая и нормативно-техническая документация, на основании которой были приняты работы, или основанием включения данной работы в перечень является полученный опыт при реализации конкретного типа уникального объекта The reference is made to the regulatory technical and legal documentation on the basis of which the works have been accepted, or the experience in implementing a specific type of unique facilities serves as an alternative argument in support of putting this work on the list	Указываются примечания, если это необходимо Notes are made if needed

работ, соответствующих данным стадиям; ссылок на нормативно-правовую или нормативно-техническую документацию, или указания о принятии данного вида работ на основании опыта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Представленная концепция разработки модели программы по научно-техническому сопровождению жизненного цикла зданий и сооружений с большим заглублением может охватить несколько этапов совершенствования НТС, представленных в дорожной карте в труде [20]. В связи с отсутствием единого нормативного документа обязательного использования по данным видам работ, а также присутствующими разночтениями в существующих нормативах и их слабой актуализации, проведенное исследование и представленная поэтапная модель создания итоговой программы НТС разрабатывается для автоматизированного выбора работ по заданным параметрам, соответствующих конкретному объекту строительства. Также при поэтапном создании программы возможно решение ряда существующих проблем:

Первый этап — проведение полного анализа всех нормативно-правовых и нормативно-технических документов, а также имеющихся научных работ и предложенных идей в научной сфере по рассматриваемой теме, поможет в дальнейшем определить необходимость совершенствования нормативов, регламентирующих деятельность НТС.

Второй этап — формирование перечня работ по НТС ЖЦ зданий и сооружений отразит стадии ЖЦ уникальных объектов, на которые регламентировано НТС, а также все рекомендуемые к проведению работы при НТС будут представлены в комплексном виде к каждой стадии. Кроме того, для включения в данный перечень работ будут рассматриваться существующие предложения, идеи и методы, существующие в исследуемой области.

Третий этап — ввод общих и специальных параметров отразит те сложности и признаки, присущие для уникальных объектов, и дополнит сформированный перечень работ дополнительными работами, характерными исключительно для конкретного типа уникального объекта. Этот процесс позволит шире охватить все необходимые для выполнения работы, и результатом процесса станет создание полной базы работ для НТС.

Четвертый этап — при установке взаимосвязи параметров с работами из базы данных происходит определение работ, относящихся к общим параметрам, которые всегда будут отражаться для проведения НТС на заданных по необходимости этапах ЖЦ, а также работ, относящихся к специальным параметрам, направленных на своевременное определение возможных негативных последствий, которые могут возникнуть при реализации определенного типа уникального объекта строительства.

Предложенная модель программы отражает общий вид автоматизации выбора работ, выполняемых специализированными организациями, однако, программа сможет охватить решение ряда практических задач и выявленных в ходе данного исследования трудностей современного подхода к НТС, которые дают основание рассматривать предлагаемую концепцию и подход к разработке данного автоматизированного инструмента в качестве наиболее приемлемого и реального варианта выбора работ по НТС.

В предложенной модели указаны роли и краткая процедура действия как пользователей программы, так и самой программы в разделах внутреннего взаимодействия «Запрос пользователя — работа программы — работа с параметрами — Работа с базой данных». Значительным преимуществом модели будет вывод работ НТС единым документом, учитывающим все вводимые значения общих и специальных параметров, и специфики производимых работ, а также отсутствие необходимости в поиске работ для проведения НТС в различных нормативных документах, так как каждая работа будет иметь отсылку к конкретному документу, подтверждая тем самым необходимость присутствия данной работы или отметку о том, что работа обязательна на основании имеющегося опыта в исследуемой области строительства.

Так как в исследовании рассматривались уникальные здания и сооружения с заглублением подземной части полностью или частично ниже планировочной отметки земли более чем на 15 м, и для данной характеристики уникальности приведены общие и специальные параметры, направлениями будущих исследований являются дополнение создаваемой базы данных теми работами, которые необходимы для других типов уникальных объектов, и определение специальных параметров, выделяющих особенности, которые следует учитывать при реализации других типов уникальных зданий.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Zargarian R. Exploring the appropriateness of urban underground space (UUS) for sustainability improvement: PhD dissertation. University of Birmingham, Birmingham, UK, 2017. 336 p.
2. Manzoor B., Othman I., Manzoor M. Evaluating the critical safety factors causing accidents in high-rise building projects // Ain Shams Engineering Journal.

2021. Vol. 12. Issue 4. Pp. 2485–2492. DOI: 10.1016/j.asej.2020.11.025

3. Дисиков Ю.Ю. Современные тенденции проектирования и строительства уникальных зданий и сооружений // Новая наука: Теоретический и практический взгляд. 2017. № 2–2. С. 66–68.

4. Guo D., Chen Y., Yang J., Tan Y.H., Zhang C., Chen Z. Planning and application of underground logistics systems in new cities and districts in China // Tunneling and Underground Space Technology. 2021. Vol. 113. Issue 3. P. 103947. DOI: 10.1016/j.tust.2021.103947

5. Леонтьев Е.В., Газизов Р.Ю. Научно-техническое сопровождение при проектировании объектов производственного и гражданского назначения повышенного уровня ответственности // Вестник государственной экспертизы. 2020. № 1. С. 54–59.

6. Shahrou I., Bian H., Xie X., Zhang Z. Smart technology applications for the optimal management of underground facilities // Underground Space. 2020. Vol. 6. Issue 4. Pp. 551–559. DOI: 10.1016/j.undsp.2020.12.002

7. Олейник П.П., Улитина А.Д. Строительный контроль как стратегия повышения качества зданий и сооружений // Промышленное и гражданское строительство. 2020. № 4. С. 22–27. DOI: 10.33622/0869-7019.2020.04.22-27

8. Таланов В. Жизненный цикл здания и его связь с внедрением технологии BIM // САПР и графика. 2017. № 2 (244). С. 8–12.

9. Maruvanchery V., Zhe S., Tiong R. Early construction cost and time risk assessment and evaluation of large-scale underground cavern construction projects in Singapore // Underground Space. 2020. Vol. 5. Pp. 53–70. DOI: 10.1016/j.undsp.2018.10.002

10. Ракитина Н.Н., Потапов А.Д. Достоверность и достаточность инженерных изысканий для строительства: правило двух Д // Вестник МГСУ. 2014. № 1. С. 90–97. DOI: 10.22227/1997-0935.2014.1.90-97

11. Topchy D.V., Yurgaitis A.Yu., Babushkin E.S., Zueva D.D. Construction supervision during capital construction, reconstruction and re-profiling // MATEC Web of Conferences. 2019. Vol. 265. Issue 9. P. 07022. DOI: 10.1051/mateconf/201926507022

12. Бычков Н.Н., Дорман И.Я., Елгаев С.В., Меркин В.Е., Мутушев М.А. Научно-техническое сопровождение проектирования и строительства подземных сооружений, как фактор обеспечения

единой научно-технической политики // Метро и тоннели. 2015. № 1. С. 18–19.

13. Kapyrin P., Sevryugina N. The procedural approach to reliability of objects of the raised level of responsibility // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 365. P. 042018. DOI: 10.1088/1757-899X/365/4/042018

14. Алехин В.Н., Антипин А.А., Городилов С.Н. Научно-техническое сопровождение строительства зданий и сооружений // Проблемы безопасности строительных критичных инфраструктур : III Междунар. конф. 2017. С. 160–173.

15. Belyi A., Karapetov E., Efimenko Y. Structural health and geotechnical monitoring during transport objects construction and maintenance (Saint-Petersburg example) // Procedia Engineering. 2017. Vol. 189. Pp. 145–151. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.05.024

16. Liu Z., Li S. A sound monitoring system for prevention of underground pipeline damage caused by construction // Automation in Construction. 2020. Vol. 113. P. 103125. DOI: 10.1016/j.autcon.2020.103125

17. Ma E., Lai J., Wang L., Wang K., Xu S., Li C. et al. Review of cutting-edge sensing technologies for urban underground construction // Measurement. 2021. Vol. 167. P. 108289. DOI: 10.1016/j.measurement.2020.108289

18. Олейник П.П., Улитина А.Д. Система обследования технического состояния здания // Системные технологии. 2020. № 1. С. 11–16.

19. Галиев И.Х., Ашрапов А.Х., Ибрагимов Р.А. Научно-техническое сопровождение объекта культурного наследия дома купца Лисицына при проведении строительно-монтажных работ по его реставрации и реконструкции // Известия КГАСУ. 2018. № 1 (43). С. 211–218.

20. Лapidус А.А. Научно-техническое сопровождение изысканий, проектирования и строительства как обязательный элемент достижения требуемых показателей проекта // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. № 11. С. 1428–1437. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.11.1428-1437

Поступила в редакцию 27 декабря 2021 г.

Принята в доработанном виде 28 марта 2022 г.

Одобрена для публикации 28 марта 2022 г.

Об авторах: **Азарий Абрамович Лapidус** — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии и организации строительного производства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 8192-2653, Scopus: 57192378750, ORCID: 0000-0001-7846-5770; LapidusAA@gic.mgsu.ru;

Дмитрий Владимирович Топчий — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии и организации строительного производства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 3956-9376, Scopus: 57201154714, ORCID: 0000-0002-3697-9201; TopchiyDV@gic.mgsu.ru;

Ирина Сергеевна Шевченко — аспирант кафедры технологии и организации строительного производства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 8956-4069; isshev@mail.ru.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Zargarian R. *Exploring the appropriateness of urban underground space (UUS) for sustainability improvement : PhD dissertation*. University of Birmingham, Birmingham, UK, 2017; 336.
2. Manzoor B., Othman I., Manzoor M. Evaluating the critical safety factors causing accidents in high-rise building projects. *Ain Shams Engineering Journal*. 2021; 12(4):2485-2492. DOI: 10.1016/j.asej.2020.11.025
3. Disikov Y.Y. Modern trends in the design and construction of unique buildings and structures. *New Science: A Theoretical and Practical View*. 2017; 2(2):66-68. (rus.).
4. Guo D., Chen Y., Yang J., Tan Y.H., Zhang C., Chen Z. Planning and application of underground logistics systems in new cities and districts in China. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2021; 113(3):103947. DOI: 10.1016/j.tust.2021.103947
5. Leontiev E.V., Gazizov R.Yu. Scientific and technical support in the design of industrial and civil facilities with a higher level of responsibility. *Bulletin of State Expertise*. 2020; 1:54-59. (rus.).
6. Shahrour I., Bian H., Xie X., Zhang Z. Smart technology applications for the optimal management of underground facilities. *Underground Space*. 2020; 6(4):551-559. DOI: 10.1016/j.undsp.2020.12.002
7. Oleynik P.P., Ulitina A.D. Construction control as a strategy for improving the quality of buildings and structures. *Industrial and Civil Engineering*. 2020; 4:22-27. DOI: 10.33622/0869-7019.2020.04.22-27 (rus.).
8. Talapov V. The life cycle of a building and its relationship with the implementation of BIM technology. *CAD and Graphics*. 2017; 2(244):8-12. (rus.).
9. Maruvanchery V., Zhe S., Tiong R. Early construction cost and time risk assessment and evaluation of large-scale underground cavern construction projects in Singapore. *Underground Space*. 2020; 5:53-70. DOI: 10.1016/j.undsp.2018.10.002
10. Rakitina N.N., Potapov A.D. Reliability and sufficiency of engineering surveys for construction: the rule of two D. *Vestnik MGSU [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]*. 2014; 1:90-97. DOI: 10.22227/1997-0935.2014.1.90-97 (rus.).
11. Topchy D.V., Yurgaitis A.Yu., Babushkin E.S., Zueva D.D. Construction supervision during capital construction, reconstruction and re-profiling. *MATEC Web of Conferences*. 2019; 265(9):07022. DOI: 10.1051/mateconf/201926507022
12. Bychkov N.N., Dorman I.Ya., Yelgayev S.V., Merkin V.Ye., Mutushev M.A. Scientific and technical support of the design and construction of underground structures, as a factor in ensuring a unified scientific and technical policy. *Metro and Tunnels*. 2015; 1:18-19. (rus.).
13. Kapyrin P., Sevryugina N. The procedural approach to reliability of objects of the raised level of responsibility. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018; 365:042018. DOI: 10.1088/1757-899X/365/4/042018
14. Alekhin V., Antipin A., Gorodilov S. Scientific and technical support of construction of buildings and structures. *Safety Problems of Civil Engineering Critical Infrastructures: III International Conference*. 2017; 160-173. (rus.).
15. Belyi A., Karapetov E., Efimenko Y. Structural health and geotechnical monitoring during transport objects construction and maintenance (Saint-Petersburg example). *Procedia Engineering*. 2017; 189:145-151. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.05.024
16. Liu Z., Li S. A sound monitoring system for prevention of underground pipeline damage caused by construction. *Automation in Construction*. 2020; 113:103125. DOI: 10.1016/j.autcon.2020.103125
17. Ma E., Lai J., Wang L., Wang K., Xu S., Li C. et al. Review of cutting-edge sensing technologies for urban underground construction. *Measurement*. 2021; 167:108289. DOI: 10.1016/j.measurement.2020.108289
18. Oleinik P.P., Ulitina A.D. System of inspection of the technical condition of a building. *System Technologies*. 2020; 1:11-16. (rus.).
19. Galiev I.H., Ashrapov A.Kh., Ibragimov R.A. Scientific and technical support of the object of cultural heritage "Merchant Lisitsyns house" during the construction works for its restoration and reconstruction. *News of the Kazan State University of Architecture and Engineering*. 2018; 1(43):211-218. (rus.).
20. Lapidus A.A. Scientific and technical support of survey, design, and construction as a mandatory element of attaining the required project objectives. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2019; 14(11):1428-1437. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.11.1428-1437 (rus.).

Received December 27, 2021.

Adopted in revised form on March 28, 2022.

Approved for publication on March 28, 2022.

B I O N O T E S: **Azariy A. Lapidus** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technology and Organization of Construction Production; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 8192-2653, Scopus: 57192378750, ORCID: 0000-0001-7846-5770; LapidusAA@mgsu.ru;

Dmitry V. Topchiy — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technology and Organization of Construction Production; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 3956-9376, Scopus: 57201154714, ORCID: 0000-0002-3697-9201; TopchiyDV@gic.mgsu.ru;

Irina S. Shevchenko — postgraduate of the Department of Technology and Organization of Construction Production; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 8956-4069; isshev@mail.ru.

*Contribution of the authors: all authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication.
The authors declare that they have no conflicts of interest.*

Автоматизированный мониторинг деформации несущих конструкций «Екатеринбург Арены»

Юрий Александрович Колотовичев^{1,2}, Андрей Михайлович Шахрамьян²

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

² *СОДИС ЛАБ; г. Москва, Россия*

АННОТАЦИЯ

Введение. Рассматриваются существенные детали технологии внедрения автоматизированных систем мониторинга уникальных сооружений, которые до сих пор не нашли достаточного отражения ни в нормативных документах, ни в методической литературе. Цель исследования — систематизировать опыт апробации ранее разработанных теоретических принципов построения систем мониторинга на примере большепролетного покрытия «Екатеринбург Арены». Показано, как были выбраны контролируемые элементы конструкций, места расположения датчиков, их количество, как решались задачи по определению допустимых интервалов изменения контролируемых параметров.

Материалы и методы. Автоматизированная система мониторинга технического состояния большепролетного покрытия построена путем развертывания комплекса программно-аппаратных средств для обработки информации, поступающей от наклономеров, тензометров, акселерометров, роботизированного тахеометра и метеостанции.

Результаты. Создана единая информационная система обеспечения автоматизированного мониторинга, включающая в себя модули для сбора результатов измерений, высокопроизводительные базы данных для хранения метрик, метаданных и информации о проекте, сервисы расчета и визуализации параметров напряженно-деформированного состояния, компоненты для самодиагностики оборудования, интерфейс разработки приложений для комплексного анализа данных и трехмерную модель объекта. Предложены инженерные методики определения фактических значений контролируемых параметров и допустимых для нормальной эксплуатации диапазонов их изменения. Апробирована методика установления внутренних усилий на основе тензометрического метода с избыточностью измерительной схемы.

Выводы. Получаемые результаты мониторинга являются ценным источником исходных данных для разработки автоматизированных методов выявления и локализации дефектов строительных конструкций, совершенствования методов расчета и проектирования, автоматизированного планирования предупредительных ремонтов, инструментальных обследований и решения других наукоемких задач. Результаты апробации теоретических принципов построения систем мониторинга могут внести весомый вклад в развитие объективно незрелой научно-практической и нормативной базы для внедрения подобных систем на технически сложных объектах капитального строительства.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Екатеринбург Арена, СМДС, СМИК, система мониторинга конструкций, геотехнический мониторинг, большепролетное сооружение, программное обеспечение, программа мониторинга

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Колотовичев Ю.А., Шахрамьян А.М. Автоматизированный мониторинг деформации несущих конструкций «Екатеринбург Арены» // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 3. С. 314–330. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.3.314-330

Автор, ответственный за переписку: Юрий Александрович Колотовичев, ykol@sodislab.com.

An automated structural health monitoring system developed for Ekaterinburg Arena

Yury A. Kolotovich^{1,2}, Andrey M. Shakhramanyan²

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

² *SODIS LAB; Moscow, Russian Federation*

ABSTRACT

Introduction. The paper presents those essential Structural Health Monitoring (SHM) implementation details that have not been sufficiently documented in Russian national guides or regulations. The study aims to systematize and share the experience of applying the previously developed SHM theoretical principles to the existing large-span unique sports facility Ekaterinburg Arena. The paper provides information about determining monitored structural elements, instrumentation alignment, and monitoring parameters' threshold value.

Materials and methods. The long-term SHM system of the large-span structure of the Arena is organized around hardware and software for processing the data constantly incoming from tiltmeters, strain gauges, accelerometers, a motorized total station, and a weather station.

Results. A unified information system for automated SHM of the Arena has been created. It comprised modules for data acquisition, high-performance databases for storing metrics, metadata, and the project information, services for evaluating and visualizing structural parameters, components for the instrumentation self-diagnosis, an application development interface for sophisticated data analysis, and a 3D model of the structure. Engineering methods for evaluating the initial values of the controlled parameters and their thresholds acceptable for regular operation are proposed. The technique of calculating internal forces based on the strain gauge data with a redundant measurement pattern has been tested.

Conclusions. The obtained monitoring results have become a valuable source of initial data for developing automated methods for detecting and locating damages in structures, improving structural analysis and design methods, predictive maintenance, surveys, and solving other knowledge-intensive tasks. Applying the SHM theoretical principles to the real structure can significantly contribute to developing the current immature scientific and regulatory framework for implementing similar monitoring systems at complicated construction facilities.

KEYWORDS: Ekaterinburg Arena, structural health monitoring, SHM, long-span, SHM software, structural performance, monitoring programme

FOR CITATION: Kolotovichev Yu.A., Shakhramanyan A.M. An automated structural health monitoring system developed for Ekaterinburg Arena. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2022; 17(3):314-330. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.3.314-330 (rus.).

Corresponding author: Yury A. Kolotovichev, ykol@sodislab.com.

ВВЕДЕНИЕ

«Екатеринбург Арена» (до 2018 г. — стадион «Центральный») — это крупнейшее спортивное сооружение на Урале вместимостью 35 тыс. мест и один из 12 стадионов России, где в 2018 г. проводились матчи чемпионата мира по футболу. Стадион построен в 1953–1957 гг., с 2006 по конец 2017 гг. пережил две масштабные реконструкции, которые привели его к соответствию требованиям FIFA для чемпионатов мира (рис. 1, а).

Следуя действующим на момент проектирования стадиона нормативным документам, для обеспечения безопасности долговременной эксплуатации уникальный объект был оборудован стационарной автоматизированной системой мониторинга напряженно-деформированного состояния (НДС) основных несущих конструкций (далее — СМДС),

разработанной и реализованной специалистами компании «СОДИС ЛАБ» в 2014–2018 гг.

Архитектура СМДС «Екатеринбург Арены» унаследовала многие характерные черты систем мониторинга, спроектированных для спортивных объектов Олимпийского парка г. Сочи в 2012–2014 гг. [1] и для аналогичных сооружений за рубежом [2, 3], но вместе с тем претерпела глубокую модернизацию как программного обеспечения, так и технических решений в части применяемого оборудования, позаимствовав ряд технологий, успешно внедренных в масштабную систему мониторинга Башни многофункционального комплекса «Лахта Центр» [4].

Основными компонентами СМДС, которые на протяжении 15 лет создаются специалистами «СОДИС ЛАБ», являются различные измерительные системы и программно-аппаратный комплекс

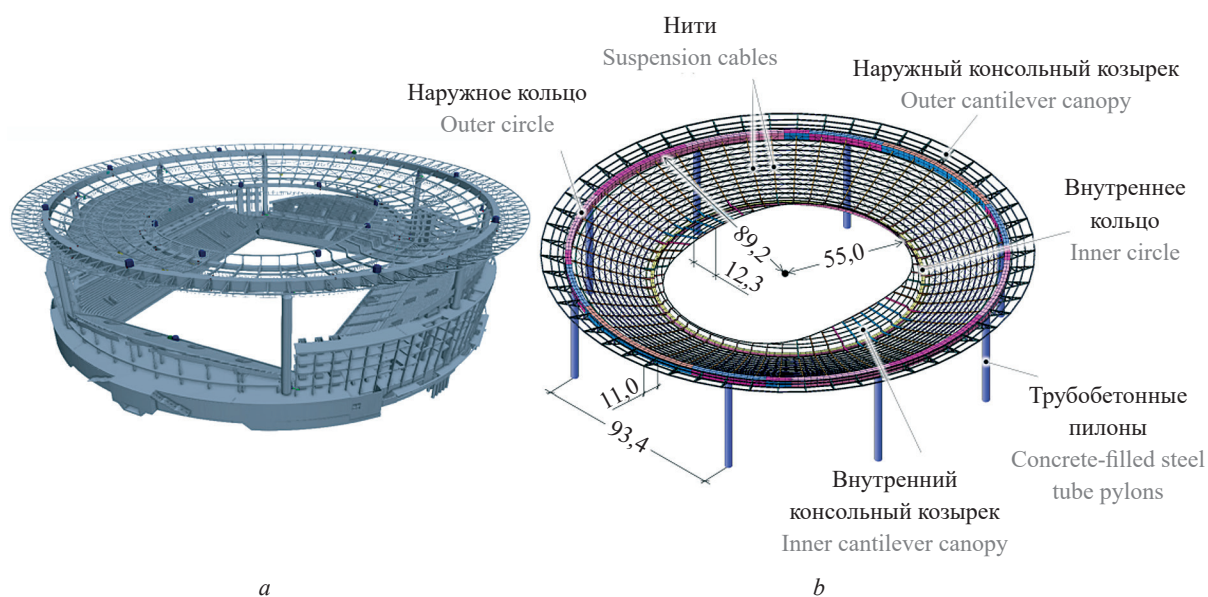


Рис. 1. Екатеринбург Арена: а — общий вид несущего каркаса (фрагмент BIM-модели); б — конструктивная схема большепролетного покрытия (размеры указаны в метрах)

Fig. 1. Ekaterinburg Arena: а — shows the general layout of the bearing framework (a part of the building information model); б — shows the structural system of the large-span shell (dimensions in meters)

для сбора, хранения и обработки данных. Разрабатываемое в компании программное обеспечение (ПО) SODIS Building M4 создает из разрозненных технических средств единую информационную среду для обеспечения преемственности, непрерывности и целостности измерений в течение всего жизненного цикла (ЖЦ) здания.

Все датчики, входящие в состав СМДС, опрашиваются автоматически с помощью специализированных систем сбора данных (даталоггеров), которые передают результаты измерений и диагностическую информацию на сервер. Доступ к данным мониторинга осуществляется с помощью автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора.

Фундаментом информационной среды мониторинга служит концепция контролируемых элементов (КЭ) конструкций и контролируемых параметров (КП)¹. Подобный уровень абстракции позволяет сравнительно просто решать задачу определения «технического состояния» (в терминах ГОСТ 31937–2011²) конструкций. Решение об изменении технического состояния принимается на основе сравнения КП с их расчетными значениями [5]. Определение допустимого для нормальной эксплуатации диапазона расчетных значений КП — одна из наименее изученных частей этой технологии, и на практике оказывается сильно затруднено из-за ряда серьезных неопределенностей.

Основная цель публикации — познакомить читателя с тем, как описанные выше теоретические принципы построения систем мониторинга были реализованы на примере уникального спортивного сооружения «Екатеринбург Арена», и поделиться опытом решения ряда задач, которые сопровождают проектирование, наладку и эксплуатацию СМДС, но при этом до сих пор не нашли достаточного отражения ни в нормативной, ни в методической литературе.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Краткие сведения о конструкциях «Арены»

Необходимость мониторинга несущих конструкций «Арены» появилась в ходе проведения второй реконструкции, когда в исторические стены (стадион имеет статус объекта культурного наследия и является памятником архитектуры сталинского неоклассицизма) был встроен совершенно новый объем. Наиболее сложная конструктивная часть нового сооружения — уникальное большепролетное покрытие трибун, спроектированное специалистами ООО «СтальПроект» в виде перевернутого усеченного конуса диаметром 178,5 м и высотой около 8 м, — опирается на 8 трубобетонных пилонов через маятниковые шарнирно-неподвижные сферические опоры.

Основными конструктивными элементами покрытия (рис. 1, б) — наружная и внутренняя кольцевые балки (кольца) коробчатого сечения. Конструктивно наружное кольцо представляет собой неразрезную 8-пролетную металлическую балку, стенки и пояса которой подкреплены ребрами и диафрагмами жесткости. Внутреннее кольцо подвешено на 54 радиальных нитях, размещенных по окружности с равным шагом и перевязанных в горизонтальной плоскости крест-накрест прутковыми связями. Нити соединены с кольцевыми балками цилиндрическими шарнирами типа «серьга». Кольца и нити выполнены из низколегированной конструкционной стали 10ХСНД.

Покрытие имеет два консольных козырька — наружный и внутренний. Наружный козырек спроектирован в виде треугольных ферм. Внутренний козырек сформирован S-образными балками переменного коробчатого сечения. По обоим козырькам уложены шарнирно примыкающие прогоны.

В окружном направлении к нитям жестко через болтовое соединение примыкают прогоны двутаврового сечения.

Структура системы мониторинга «Арены»

В состав СМДС спортивного сооружения включены системы мониторинга угловых перемещений (кренов), деформаций и контроля колебаний (динамического мониторинга), система геодезического мониторинга (контроля перемещений) и система погодного мониторинга. Общий комплекс основных технических средств в виде упрощенной структурной схемы представлен на рис. 2.

В качестве элементов, контролируемых системой мониторинга в большепролетных зданиях, целесообразно выбирать «ключевые» элементы конструктивной схемы. Вопрос о том, какие конструкции считать ключевыми, недостаточно отражен в нормативных документах РФ, поэтому в своей практике «СОДИС ЛАБ» использует подход, описанный в NYC Building Code 2014³, — элемент считается ключевым, если он удовлетворяет хотя бы одному следующему критерию:

- отказ элемента вызывает лавинообразное обрушение;
- отказ элемента приводит к отказу другого ключевого элемента;

¹ Патент РФ № 2672532 С2, МПК G01M 7/00. Способ мониторинга технического состояния строительных объектов и система мониторинга технического состояния строительных объектов / А.М. Шахрамьян, Ю.А. Колотовичев, Д.А. Мозжухин. Заявитель : Общество с ограниченной ответственностью «СОДИС ЛАБ»; заявл. № 2016144216 от 10.11.2016; опубл. 15.11.2018.

² ГОСТ 31937–2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. М., 2014.

³ Section BC 1614, Chapter 16, NYC Building Code 2014.

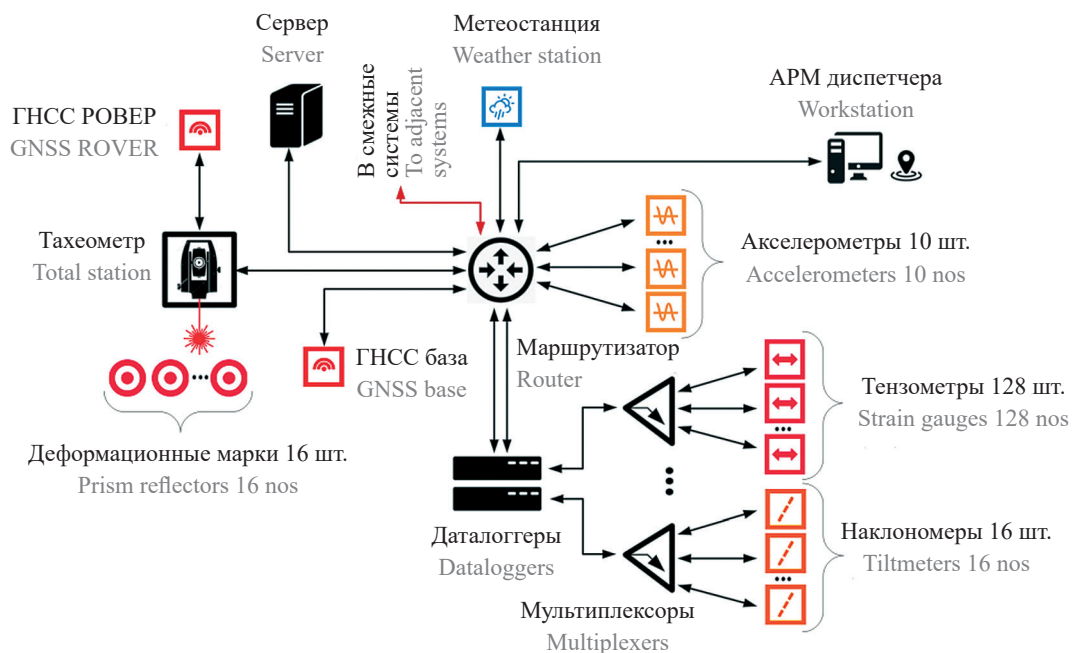


Рис. 2. Структурная схема СМДС «Екатеринбург Арены»

Fig. 2. The block flow diagram of the Ekaterinburg Arena SHM system

- грузовая площадь элемента превышает 3000 футов² (~280 м²) в пределах одного этажа.

Ключевыми элементами покрытия «Арены» являются кольцевые балки и трубобетонные пилоны (рис. 1, б), поэтому они выбраны в качестве КЭ. Для удобства локализации аварий (и визуализации нештатных ситуаций) оба кольца в базе данных системы мониторинга разделены на 16 частей (в местах расположения датчиков деформации).

Большинство физических величин, измеряемых датчиками, характеризуется не только значением, но и направлением, поэтому для однозначной интерпретации получаемых сведений приходится использовать различные системы координат и правила знаков, задаваемые для каждой измерительной системы индивидуально.

Получаемые данные инструментальных наблюдений используются для расчета следующих КП: крены (угловые деформации) контролируемых пилонов, внутренние усилия и нормальные напряжения в сечениях кольцевых балок, частоты собственных колебаний конструкций каркаса здания и планово-высотные перемещения металлоконструкций покрытия.

На основании значений КП ПО системы мониторинга в автоматическом режиме определяет техническое состояние объекта (уведомляет диспетчера о нештатных ситуациях).

Для корректировки значений, получаемых от измерительных подсистем, с учетом влияния на них метеорологической составляющей, используются данные погодного мониторинга.

СМДС для связи использует локальную вычислительную сеть объекта, получает электропитание

по первой категории электроснабжения и взаимодействует с системой мониторинга инженерных систем (СМИС) для передачи сообщений об изменениях технического состояния КЭ или неисправностях системы. Серверная часть системы обработки данных размещена в стандартной 19-дюймовой стойке, расположенной в специализированном помещении на территории стадиона. Для управления системой, отображения результатов и выдачи отчетов по результатам мониторинга используется АРМ в диспетчерской СМДС. Удаленный доступ к данным мониторинга проектом не предусмотрен по требованиям к информационной безопасности объекта.

Измерительные системы

Приведем подробную информацию о функционировании измерительных систем автоматизированной системы мониторинга «Арены», компонентах системы, физических принципах, лежащих в основе производимых измерений, и о существенных деталях алгоритмов обработки данных мониторинга.

Система мониторинга угловых перемещений (кренов) состоит из 16 аналоговых двухосных микроэлектромеханических наклономеров 0S542MA0500 с токовым выходом 4–20 мА производства компании SISGEO (Италия). Мониторинг угловых перемещений с помощью наклономеров является экономически эффективным и хорошо апробированным [6–8] способом регистрации длительных деформационных процессов в зданиях.

Все наклонометры (рис. 3, а) установлены на боковой поверхности пилонов (рис. 4, б) и осу-

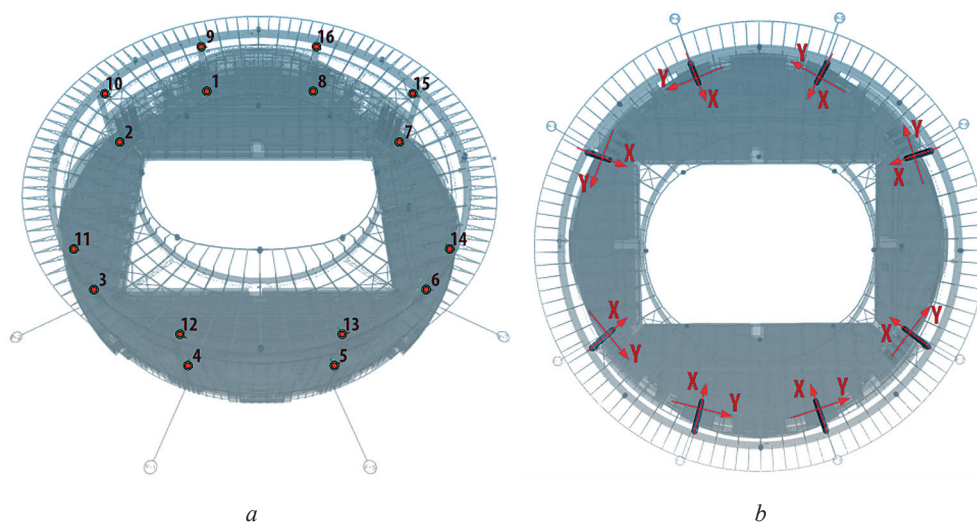


Рис. 3. Система мониторинга угловых деформаций: *a* — схема расположения наклономеров на пилонах; *b* — система координат наклономеров

Fig. 3. The tilt monitoring system: *a* — shows the arrangement diagram of tiltmeters; *b* — shows the coordinate system of tiltmeters

ществляют измерение угловых перемещений в двух взаимно перпендикулярных плоскостях (рис. 4, *a*). Каждый пилон оборудован двумя датчиками, расположенными в нижней и верхней его части. Сбор данных осуществляется с помощью четырех даталоггеров Campbell Scientific CR6 (США) и периферийного оборудования. Для работы с данными мониторинга кренов в ПО была принята система координат, изображенная на рис. 3, *b*, и правило знаков, показанное на рис. 4, *a*.

Даталоггеры производят опрос наклономеров с периодом 2 мин. Результаты измерений (положение прибора относительно вектора силы тяжести)

усредняются на 10-минутном интервале и передаются в базу данных мониторинга. Процедура усреднения показаний применяется для минимизации вероятности появления случайных выбросов, вызванных импульсными воздействиями на наблюдаемую конструкцию, к которым большинство наклономеров весьма чувствительно.

Из-за физической невозможности с достаточной точностью сориентировать измерительные оси наклономеров параллельно продольным осям пилонов, получить абсолютное значение угла наклона пилона, как правило, не удастся. Поэтому используется метод относительных измерений, при котором система

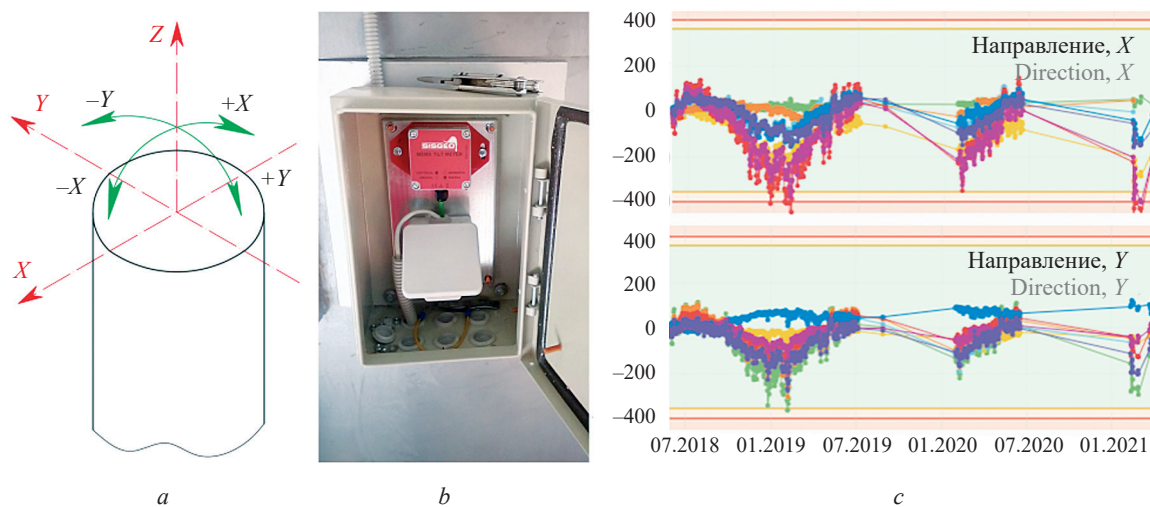


Рис. 4. Схема мониторинга кренов пилонов: *a* — правило знаков для определения направления кренов; *b* — внешний вид наклонометра в проектное положение (на боковой поверхности пилона); *c* — результаты мониторинга кренов верхней точки пилонов с 07.2018 по 01.2021, уг. с

Fig. 4. The pylon tilt monitoring diagram: *a* — shows the rule of signs used to identify the tilt of pylons; *b* — shows the tiltmeter (on the side surface of a pylon); *c* — shows the monitoring results of the tilting pylon top from 07/2018 till 01/2021, arc. s

мониторинга отслеживает изменения положения пилонов ΔX и ΔY по сравнению с начальным «нулевым» состоянием. За нулевое принято положение, в котором пилоны находились 18.05.2018 — в момент завершения пусконаладочных работ и начала эксплуатации измерительной системы. В локальной системе координат прибора (для измерительного канала ΔY — аналогично) получим:

$$\Delta X = (X - X_0), \quad (1)$$

где X — текущий угол наклона измерительной оси X прибора по отношению к вектору силы тяжести; X_0 — угол, измеренный 18.05.2018. Температурная коррекция измерений в этом случае не требуется, так как используемые датчики являются самокомпенсирующимися.

Приведение измерений крена к системе координат (рис. 3, б) выполняется с помощью матрицы поворота:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X' \\ Y' \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где X и Y — преобразованные показания датчиков; X' и Y' — показания датчиков в системе координат прибора; α — угол поворота.

Для автоматизированного контроля технического состояния пилонов в ПО заданы допустимые интервалы изменения (уставки) углов крена на контролируемых отметках. Уточненных данных по расчетному крену пилонов от ветровой нагрузки, крена фундаментов и температурных климатических воздействий в процессе проведения пусконаладки системы получить не удалось, поэтому в начальный период мониторинга был использован упрощенный нормативный⁴ подход, согласно которому горизонтальные предельные перемещения элементов конструкций, ограничиваемые исходя из конструктивных требований, не должны превышать $h/500$, где h — высота здания. Это перемещение соответствует углу крена $3600 \cdot \arctan(1/500) = 400$ угловых секунд. ПО системы мониторинга было настроено таким образом, что переход контролируемых пилонов в предаварийное или аварийное состояние происходит при достижении крена на любой отметке и в любом направлении величины, большей (по модулю), чем соответствующая уставка.

Для своевременной реакции на возможный прогрессирующий крен колонн в системе мониторинга заданы более строгие допустимые интервалы, чем предписывает СП 20: аварийная (красная) уставка задана в соответствии с максимальным допустимым угловым отклонением. Предаварийная (желтая) уставка получена умножением «красной» уставки на коэффициент 0,9 (табл. 1).

В начале 2021 г. после обработки показаний (рис. 4, с) было установлено, что в периоды с тем-

Табл. 1. Начальные интервалы изменения КП (уставки) для мониторинга кренов пилонов

Table 1. Initial pylon tilt thresholds used to monitor the tilt of pylons

Состояние КЭ Controlled element condition	Угол крена δ , уг. с Tilt angle δ , arc. s
Нормальное Normal	$ \delta \leq 360$
Предаварийное Pre-emergency	$360 < \delta \leq 400$
Аварийное Emergency	$ \delta > 400$

пературами воздуха ниже -20°C может наблюдаться непродолжительное превышение допустимого уровня деформации большинства контролируемых пилонов, вызываемое, вероятно, температурным сжатием наружного кольца (крен направлен в сторону геометрического центра арены). Учитывая неопределенности в установлении начального положения пилонов, нулевая линия уставок была сдвинута на величину медианы кренов за весь предыдущий период наблюдений.

Система мониторинга деформаций состоит из 128 струнных датчиков деформации — тензометров SISGEO 0VK4000VS00 (Италия). Система производит автоматизированный мониторинг изменения деформации, напряжений и компонентов внутренних усилий относительно момента времени, в который снимаются «нулевые» замеры, являющиеся отправной точкой при анализе изменений НДС. Используется общепринятый [9, 10] подход, при котором тензометры объединяются в измерительные группы — створы (рис. 5, а). Каждый створ состоит из четырех тензометров, приваренных к стенкам кольцевых балок в осевом (окружном) направлении, на известном расстоянии от центра тяжести поперечного сечения (рис. 6, а). Такое расположение датчиков является компромиссом между обеспечением механической сохранности приборов и получением релевантных измерений, хотя и не оптимально с точки зрения теории упругости.

Даталоггеры CR6 производят последовательный опрос тензометров с периодом 30 мин. Осреднение не применяется из-за низкой чувствительности струнной технологии к импульсным воздействиям.

В предположении об упругой работе балок возможно по известной деформации в точках установки тензометров произвести расчет механических напряжений в любой точке сечения и определить внутренние усилия — продольную силу N и два из-

⁴ СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия.

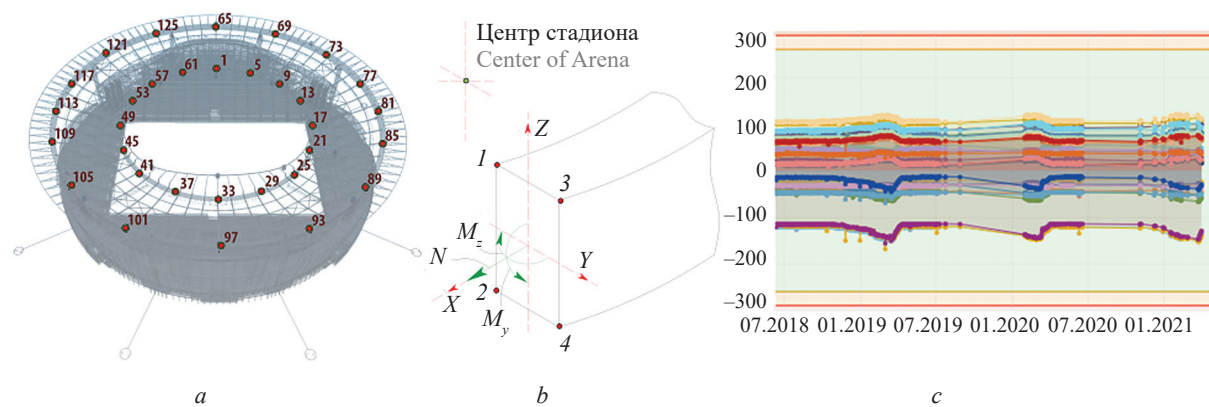


Рис. 5. Система мониторинга деформаций: *a* — схема расположения створов с тензометрами на кольцевых балках; *b* — система внутренних усилий, нумерация точек расчета напряжений и правило знаков в сечении кольцевых балок; *c* — результаты мониторинга напряжений в точках 1 контролируемых сечений с 07.2018 по 01.2021, МПа

Fig. 5. The strain monitoring system: *a* — shows strain gauge groups on circular beams; *b* — shows internal forces, numbered stress analysis points, and the rule of signs in the section of circular beams; *c* — shows the stress monitoring results from 07/2018 till 01/2021 at points 1 of the controlled sections, MPa

гибающих момента — M_y и M_z , действующие во взаимно перпендикулярных плоскостях (рис. 5, *b*):

$$\begin{cases} N = N_0 + \Delta N; \\ M_y = M_{y0} + \Delta M_y; \\ M_z = M_{z0} + \Delta M_z, \end{cases} \quad (3)$$

где N_0 , M_{y0} и M_{z0} — действующие на момент начала мониторинга 25.05.2018 «нулевые» значения внутренних усилий в точках расположения датчиков; ΔN , ΔM_y и ΔM_z — приращения внутренних усилий в произвольный момент времени, вычисляемые ав-

томатически с помощью ПО системы по следующей схеме:

1. По измеренным деформациям в отдельных точках сечения ϵ_1 , ϵ_2 , ϵ_3 , и ϵ_4 (рис. 6, *a*) на основе классической гипотезы плоских сечений Эйлера – Бернулли определяется эпюра деформации. Избыточная измерительная схема, состоящая из четырех датчиков, позволяет более точно позиционировать плоскость эпюры в пространстве, но приводит к необходимости минимизировать невязки (рис. 6, *b*), вызванные неизбежными погрешностями измерений и неучитываемыми локальными эффектами. Мини-

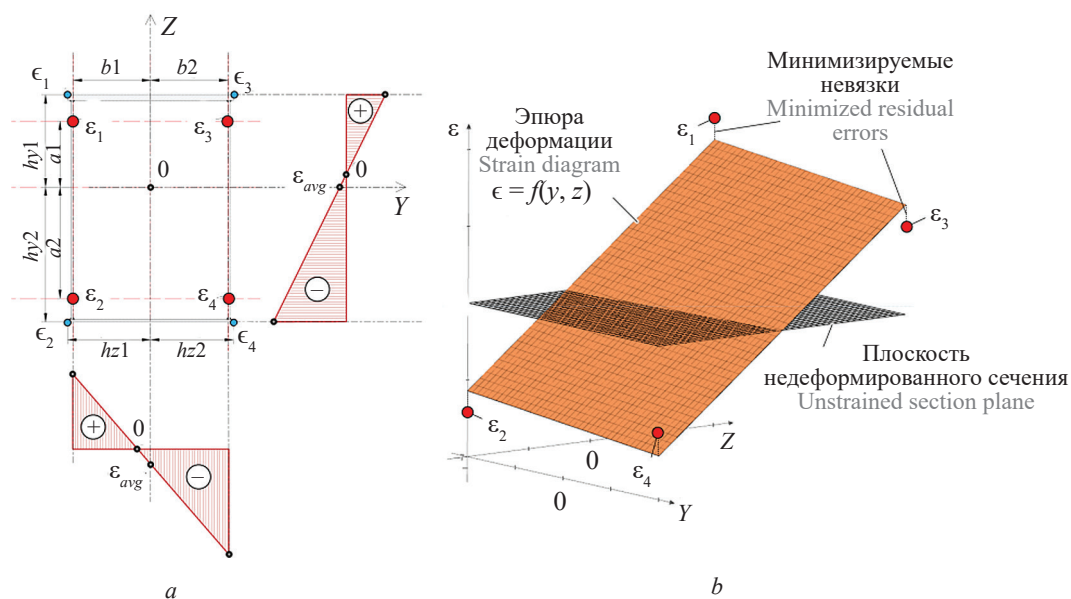


Рис. 6. Система мониторинга деформаций: *a* — схема расположения тензометров (красные точки) в сечении кольцевых балок. Показаны сечения эпюры деформации, проведенные через главные центральные оси; *b* — схема аппроксимации эпюры деформаций в сечениях кольцевых балок

Fig. 6. The strain monitoring system: *a* — shows the arrangement of strain gauges (red dots) in the cross-section of circular beams. Strain diagrams, crossing principal axis sections are shown; *b* — is the approximation layout for a strain diagram of circular beams

мизация невязок выполняется методом наименьших квадратов. Результатом данного этапа расчета является аналитическое представление эпюры деформации в рассматриваемом сечении в виде $\epsilon = f(y, z)$, где ϵ — продольная деформация в произвольной точке сечения с координатами (y, z) ; f — уравнение плоскости в пространственных координатах.

2. Полученная аналитическая эпюра позволяет определить экстремальные значения деформаций ϵ_1 , ϵ_2 , ϵ_3 , и ϵ_4 , которые достигаются в угловых точках 1–4 (рис. 5, б) рассматриваемого сечения.

3. В соответствии с законом Гука по вычисленным деформациям в угловых точках сечения производится расчет приращений нормальных напряжений $\Delta\sigma_N$, $\Delta\sigma_{My}$ и $\Delta\sigma_{Mz}$, вызванных растяжением-сжатием и изгибом балок в ортогональных плоскостях соответственно, а также суммарных экстремальных напряжений σ_1 , σ_2 , σ_3 и σ_4 .

4. Приращения нормальных напряжений интегрируются по площади поперечного сечения в соответствии с известными законами механики твердого деформируемого тела для получения искоемых приращений компонентов внутренних усилий.

Нулевые значения внутренних усилий в контролируемых сечениях были получены специалистами ООО «СтальПроект» путем расчета пространственной КЭ-модели стадиона в геометрически нелинейной постановке с учетом порядка монтажа, без учета коэффициентов надежности по нагрузке и ответственности, от сочетания постоянных и длительно действующих нагрузок.

Автоматический расчет напряжений и внутренних усилий в сечениях колец производится только при исправности всех датчиков деформации в створе. При отключении или повреждении хотя бы одного датчика в створе расчет параметров балок прекращается вплоть до устранения неисправностей измерительного оборудования.

Для автоматизированного контроля технического состояния кольцевых балок в ПО заданы допустимые интервалы изменения нормальных напряжений σ_1 , σ_2 , σ_3 и σ_4 в контролируемых сечениях. Уставки для внутренних усилий в системе мониторинга не задаются, так как различные комбинации внутренних усилий могут привести к появлению одних и тех же напряжений в сечении.

Как и в случае с мониторингом кренов, для своевременной реакции на возможный прогрессирующий рост напряжений в ПО заданы более строгие допустимые интервалы: аварийная уставка получена умножением минимального условного предела текучести материала кольцевых балок (325 МПа) на коэффициент 0,9. Предавварийная уставка получена умножением минимального предела текучести материала кольцевых балок на коэффициент 0,8.

ПО системы мониторинга настроено таким образом, что переход контролируемых элементов кольцевых балок покрытия в предаварийное или

аварийное состояние происходит при достижении напряжений в любой точке контролируемых сечений величины, большей (по модулю), чем соответствующая уставка (табл. 2).

Табл. 2. Начальные интервалы изменения КП (уставки) для мониторинга деформаций (напряжений) кольцевых балок

Table 2. Initial stress thresholds for the controlled parameters needed to monitor strains in circular beams

Состояние КЭ Controlled element condition	Нормальное напряжение σ_p , МПа Normal stress σ_p , МПа
Нормальное Normal	$ \sigma_i \leq 260$
Предавварийное Pre-emergency	$260 < \sigma_i \leq 290$
Аварийное Emergency	$ \sigma_i > 290$

ПО позволяет в любой момент получить доступ к текущим и историческим значениям напряжений σ_p , внутренних усилий N , M_y и M_z , приращениям деформаций ϵ_i в точках установки датчиков. В дополнение к указанным выше величинам производится регистрация частот колебаний струн тензодатчиков и их температуры, не подвергающиеся никакой математической обработке, — сохранение «сырых» данных мониторинга всегда является крайне желательным для диагностики нештатных ситуаций в работе автоматизированной системы.

Результаты мониторинга кольцевых балок в период с 07.2018 по 01.2021 показали (рис. 5, с), что напряжения в наиболее опасных точках сечений находятся глубоко в «зеленой» зоне.

Система контроля колебаний (динамического мониторинга) состоит из 10 трехкомпонентных акселерометров СОДИССТОР SDA-1 (РФ). Акселерометры в автоматизированном режиме осуществляют синхронное измерение ускорений колебаний конструкций покрытия в трех взаимно перпендикулярных направлениях X , Y и Z с частотой 200 Гц. Проектное положение измерительных пунктов с акселерометрами показано на рис. 7.

Количество и места установки акселерометров выбраны таким образом, чтобы для первых 12 низших форм собственных колебаний приборы оказывались расположены вне узловых точек (амплитуда колебания которых по рассматриваемой форме равна нулю), а по разности фаз колебаний можно было бы легко идентифицировать конкретную форму колебаний (рис. 7, с). Такое расположение датчиков позволяет получить исходные данные для калибровки расчетной модели [11, 12] и производить полный

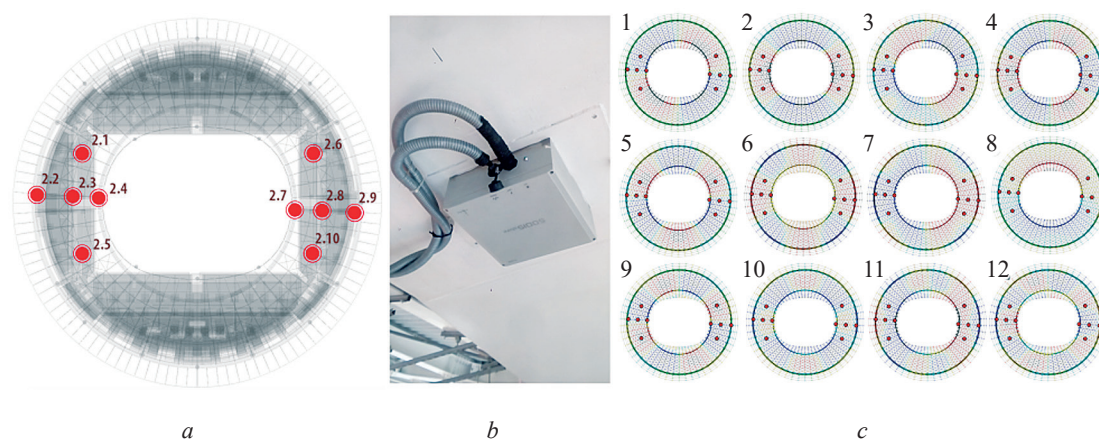


Рис. 7. Система динамического мониторинга: *a* — схема расположения акселерометров на кольцевых балках; *b* — внешний вид акселерометра в проектное положение (на нижней полке кольцевой балки); *c* — мозаики перемещений по первым 12 формам собственных колебаний, совмещенные с точками расположения акселерометров

Fig. 7. The vibration monitoring system: *a* — shows the arrangement of accelerometers on circular beams; *b* — shows the external appearance of an installed accelerometer; *c* — shows displacement patterns based on the first 12 mode shapes overlaid with points of accelerometers

анализ колебательного процесса на покрытии как во временной, так и в частотной области [13].

Автоматизированный контроль технического состояния покрытия осуществляется на основании известного принципа постоянства ряда динамических характеристик, в частности — спектра частот собственных колебаний [14–17]. ПО системы мониторинга в непрерывном режиме производит спектральное преобразование последовательных 10-минутных (для получения достаточного частотного разрешения) записей колебательного процесса для каждого измерительного канала каждого акселерометра. Далее, в частотном диапазоне 0,5–1,5 Гц выполняется поиск пяти первых спектральных пиков, соответствующих частотам собственных колебаний сооружения. Характеристики пиков сравниваются с уставками (табл. 3), которые назначены вручную путем спектрального анализа колебаний, зарегистрированных в апреле 2018 г. в рамках выполнения пусконаладочных работ. Схема назначения уставок показана на рис. 8 — спектральный пик в процессе эксплуатации «Арены» должен всегда идентифи-

цироваться внутри «окон», отмеченных красными рамками. Допустимый интервал изменения собственных частот, не приводящий к срабатыванию тревожного оповещения, совпадает с шириной «окна», и эмпирически (в работе [1] показано, что положения ГОСТ 31937-2011 в отношении динамического мониторинга неприменимы на практике) принят равным $\pm 0,05$ Гц.

Отметим, что в рассматриваемом случае выход спектрального пика за установленные пределы из-за недостаточной изученности процесса [18–21] не рассматривается как аварийная ситуация, а служит лишь индикатором необходимости произвести расследование причин изменения динамических характеристик.

Система геодезического мониторинга (контроля перемещений) выполняет наблюдение за планово-высотными перемещениями покрытия стадиона. Главным компонентом системы является роботизированный тахеометр Leica TM-30 (Швейцария), который каждый час производит автома-

Табл. 3. Начальные уставки для контроля частот собственных колебаний покрытия (выборочно)

Table 3. Initial thresholds for natural frequencies (on a selective basis)

Номер акселерометра Accelerometer No.	Направление Direction	Средняя частота, Гц Mean frequency, Hz	Допустимое отклонение, Гц Acceptable deviation, Hz
2.1	X, Y, Z	0,61	0,05
2.1	X, Y, Z	0,91	0,05
2.1	X, Y, Z	0,97	0,05
2.1	X, Y, Z	1,01	0,05
2.1	X, Y, Z	1,07	0,05

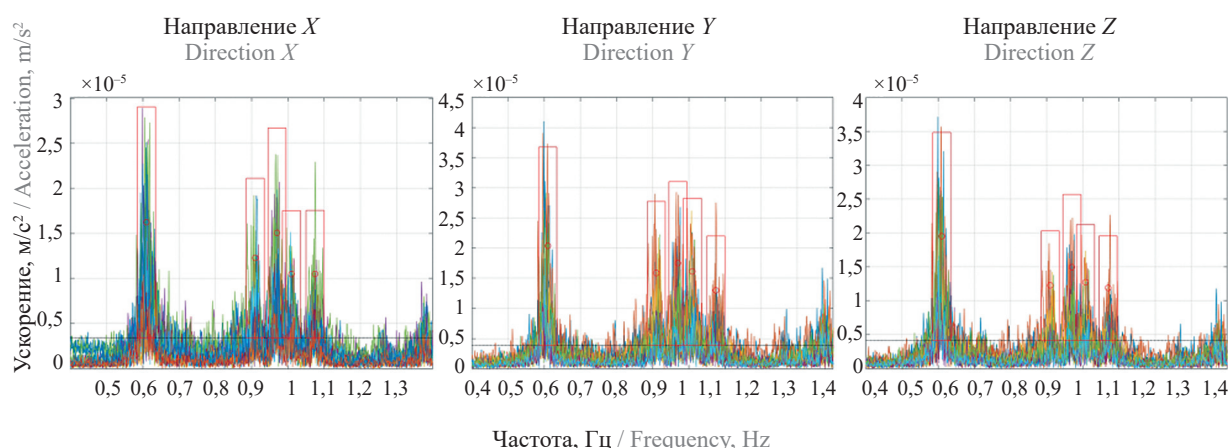


Рис. 8. Спектральный состав колебаний в точке 2,1, полученный в апреле 2018 г.

Fig. 8. The vibration spectrum obtained at point 2.1 in April 2018

тическую съемку 15 деформационных марок типа Leica GPR112 (рис. 10, а), установленных на кольцевых балках (рис. 9, а).

Тахеометр установлен на наружном кольце (рис. 9, б) в зоне активных деформаций, поэтому корректировка его собственного положения производится с помощью ГНСС-приемника Leica GMX901, совмещенного с измерительным пунктом (рис. 10, б), и опорной деформационной марки (призмы № 16), установленной на конструкциях трибун. ГНСС-приемник рассчитывает собственные координаты с опорой на базовую ГНСС-станцию, смонтированную на глубинном репере на прилегающей к стадиону территории (рис. 9, б).

Введение поправок на климатические условия при тахеометрической съемке выполняется на основе показаний двух комбинированных датчиков температуры и давления, расположенных на противоположных сторонах Арены (рядом с тахеометром и в точке № 16).

Специалистами ООО «СтальПроект» путем расчета пространственной КЭ-модели стадиона в геометрически нелинейной постановке с учетом порядка монтажа, без учета коэффициентов надежности по нагрузке и ответственности, получены максимальные $u_z^{\max}$ и минимальные $u_z^{\min}$ вертикальные перемещения кольцевых балок в контрольных точках от возможных сочетаний постоянных и длительно действующих нагрузок. Расчетный размах перемещений $|u_z^{\max} - u_z^{\min}|$ составил 33–222 мм, при этом фактический средний суточный размах вертикальных перемещений, полученный по результатам автоматизированного геодезического мониторинга в период пусконаладочных работ, составлял до 10 % от расчетного. Такая деформативность покрытия не позволяла с приемлемой точностью определить «начальное» положение контрольных точек, поэтому для задания в ПО системы мониторинга допустимых перемещений деформационных марок (уставок) использован упрощенный подход. Пред-

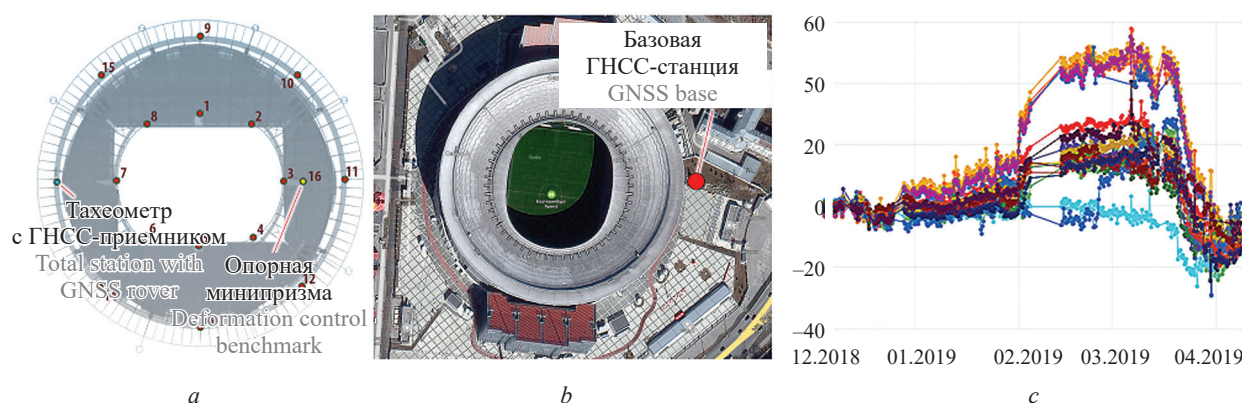


Рис. 9. Схема расположения оборудования системы геодезического мониторинга: а — деформационных марок № 1–15 и роботизированного тахеометра на конструкциях покрытия, опорной марки № 16 на конструкциях трибун; б — базовой ГНСС-станции на прилегающей территории; в — результаты мониторинга вертикальных перемещений деформационных марок с 12.2018 по 04.2019, мм

Fig. 9. The arrangement of instruments comprising the geodetic monitoring system: а — shows deformation control benchmarks 1–15 and a motorized total station on the structures of the covering, benchmark 16 on tribune structures; б — shows the GNSS base in the adjacent area; в — shows the monitoring results of vertical displacements from 12/2018 till 04/2019, mm

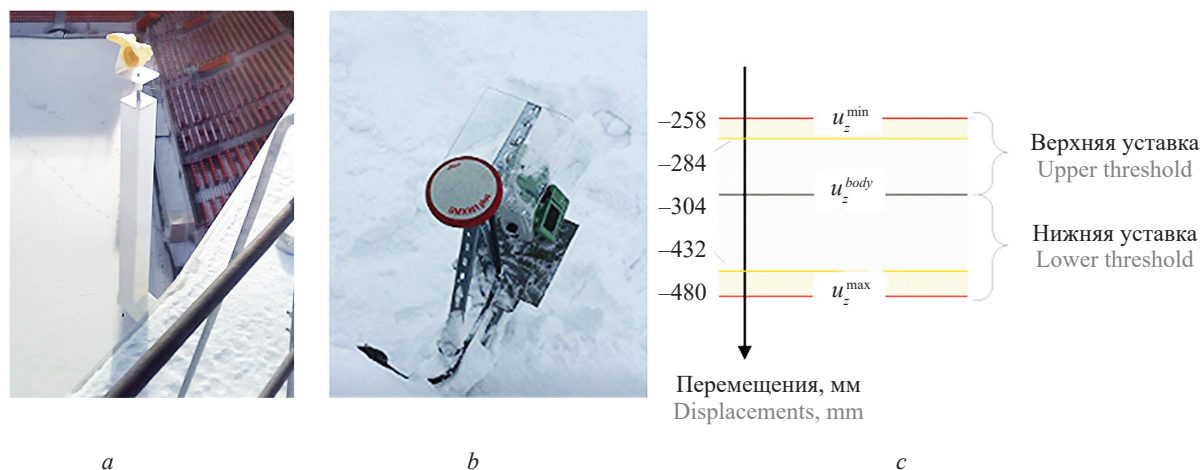


Рис. 10. Система геодезического мониторинга: *a* — деформационная марка 5 на конструкциях внутреннего кольца; *b* — тахеометр, совмещенный с ГНСС-приемником; *c* — схема назначения уставок для деформационной марки № 1

Fig. 10. The displacement monitoring system: *a* is deformation control benchmark 5; *b* is the total station with a GNSS rover; *c* is the threshold layout deformation control benchmark 1

полагается, что в начальный период мониторинга прогиб колец u_z^{body} (рис. 10, *c*) вызван исключительно собственным весом конструкций покрытия, а все изменения положения контролируемых точек вызваны действием временных нагрузок. В дальнейшем положение нулевой линии, выбранное на начальном этапе мониторинга «полуэмпирически», будет скорректировано на основании статистической обработки результатов наблюдений.

Дополнительно для получения абсолютных координат контролируемых точек в местной системе г. Екатеринбург 1 сентября 2018 г. специализированной организацией был выполнен комплекс геодезических работ по привязке в единую локальную сеть деформационных марок, измерительных пунктов с ГНСС-станциями и тахеометром. Сеть создавалась комбинированием спутниковых наблюдений и замкнутого теодолитного хода.

Система погодного мониторинга включает в себя мультисенсорную метеостанцию с ультразвуковым трехкомпонентным анемометром Gill Instruments MetPak RG/WindMaster Pro (Великобритания), установленную на наружном кольце (рис. 11, *a, b*). Метеостанция каждые 30 мин регистрирует температуру воздуха, влажность, атмосферное давление, направление и скорость ветра, и количество осадков (рис. 11, *c*). Накопленный различными исследователями опыт наблюдений за высотными и большепролетными конструкциями показывает, что параметры НДС [22, 10, 23, 24] и метрологические характеристики датчиков [25] демонстрируют высокую степень корреляции с параметрами окружающей среды, поэтому погодный мониторинг позволяет отделять изменения параметров, связанных с деградацией строительных конструкций, от сезонных и климатических изменений.

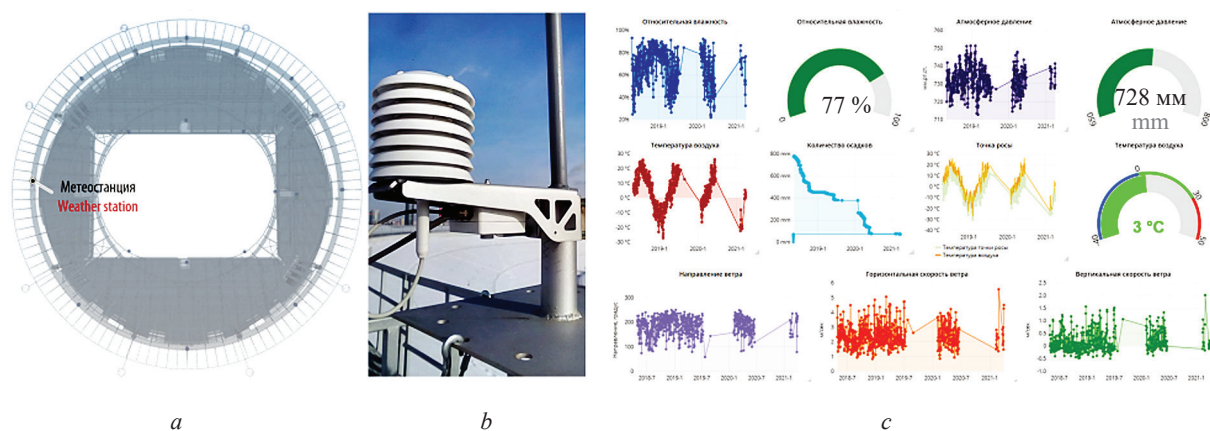


Рис. 11. Система погодного мониторинга: *a* — расположение метеостанции на конструкциях покрытия; *b* — внешний вид метеостанции в проектом положении; *c* — информационная панель ПО с данными мониторинга метеопараметров

Fig. 11. The weather monitoring system: *a* is the location of the weather station on the structure of the covering; *b* is the appearance of the weather station; *c* is the data panel showing environmental monitoring information

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Успешная работа над внедрением СМДС «Екатеринбург Арена» показала, что теоретически и методически обоснованный выбор топологии системы, КЭ, качественного измерительного оборудования и допустимых отклонений КП в совокупности с проблемно-ориентированным программным обеспечением (рис. 12) позволяет создать единую информационную среду долговременного мониторинга уникальных объектов, которая при условии компетентной эксплуатации становится ценным источником исходных данных для разработки автоматизированных методов выявления и локализации дефектов строительных конструкций, совершенствования методов расчета и проектирования, обновления нормативной базы, автоматизированного планирования предупредительных ремонтов, инструментальных обследований и решения других наукоемких задач. В составе СМДС «Арены» разработаны:

- база данных оборудования, содержащая информацию о калибровочных коэффициентах и «нулевых» замерах, эксплуатационную документацию и фотографии приборов;
- база КЭ, включающая типы конструкций, деформационные характеристики материалов, геометрические характеристики сечений, координаты точек установки датчиков;
- модули обработки «сырых» данных, реализующие правила расчета КП;
- представление информации в виде графиков, индикаторов на 3D-модели;

- мнемосхемы с правилами определения знаков (направлений) внутренних усилий и перемещений, с точками расчета напряжений;
- система оповещения оперативного персонала о нештатных ситуациях.

Работа над автоматизацией оповещения оперативного персонала о нештатных ситуациях показала необходимость выделения периода опытно-промышленной эксплуатации СМДС, минимальной продолжительностью в один календарный год, в течение которого выбор диапазонов допустимых отклонений КП (уставок) должен осуществляться согласно требованиям действующих нормативных документов в совокупности с результатами математического (конечно-элементного) моделирования работы строительных конструкций. После завершения периода опытно-промышленной эксплуатации СМДС уставки должны пересматриваться путем статистической обработки накопленных данных.

При использовании измерительных технологий, осуществляющих мониторинг изменений параметров сооружения по сравнению с некоторым начальным состоянием, фактическое НДС в момент начала инструментальных наблюдений предложено устанавливать в результате конечно-элементного моделирования линейной работы сооружения под действием комбинации нормативных постоянных и длительных временных нагрузок с коэффициентами сочетания, равными единице, без учета коэффициента надежности по ответственности.

Установлено, что наиболее значительным фактором изменения НДС конструкций покрытия Арены является изменение температуры окружающей среды.



Рис. 12. Пользовательский интерфейс SODIS Building M 4.0, сконфигурированный для управления системой мониторинга «Екатеринбург Арены»

Fig. 12. The SODIS Building M 4.0 user interface, adopted for the SHM system of Ekaterinburg Arena

Апробирована методика определения внутренних усилий на основе тензометрического метода с избыточностью измерительной схемы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Накопленный специалистами «СОДИС ЛАБ» опыт выполнения работ по мониторингу НДС при сопровождении строительства и эксплуатации крупных строительных объектов позволяет выделить ряд системных проблем, требующих проработки сначала на уровнях научно-исследовательских и проектно-изыскательских организаций, а затем — дальнейшего закрепления в виде нормативных документов. В частности, существующие технологии определения ключевых параметров НДС конструкций (перемещений, внутренних усилий, напряжений) на основе обработки результатов измерений основаны на классических принципах механики твердого деформируемого тела и, на первый взгляд, хорошо известны. Однако с целью полной автоматизации расчетов параметров сооружений для реальных строительных конструкций дополнительно необходимо решить ряд наукоемких задач на стыке науки о больших данных (Data Science) и общестроительных инженерных дисциплин. Специалисты с подобной комбинацией навыков — огромный дефицит, что сильно тормозит технологические возможности отрасли.

Большой проблемой для систем мониторинга технически сложных и уникальных зданий является отсутствие культуры их эксплуатации. Технические службы собственников подобных объектов в настоящее время не обладают необходимыми уровнями компетенций, из-за чего мониторингу — длительному и монотонному процессу — наносится значительный ущерб. На рис. 4, с; 5, с показаны результаты мониторинга некоторых параметров сооружения, где хорошо заметны длительные разрывы данных, вызванные «человеческим фактором» — вероятно, система регистрации периодически непреднамеренно обесточивалась, а диспетчерская служба по неустановленным причинам игнорировала диагностическую информацию на АРМ. Эта проблема встречается повсеместно, бороться с ней пока удается лишь подготовкой профильных специалистов, либо передавая эксплуатацию в руки специализированных организаций.

В профессиональном сообществе работы по мониторингу принято разделять на геотехнический (ГТМ), технический и автоматизированный мониторинг (СМИК, СМДС, АСДК), которые регламентируются различными нормативными документами и выполняются либо «автономно», либо наоборот — дублируют друг друга. Опыт показывает, что эффективно решать задачи по обеспечению безопасности строительных объектов можно только посредством объединения всех видов мониторинга в логически, технологически и органи-

зационно связанный комплекс работ. В противном случае безвозвратно утрачивается преемственность, непрерывность и целостность измерений, что часто только увеличивает неопределенность и затрудняет инженерную интерпретацию получаемых данных, делает невозможным принятие обоснованных организационных решений по ремонту, усилению, проведению контраварийных мероприятий. Правилom с крайне редкими исключениями является практика привлечения различных исполнителей работ по мониторингу на отдельных этапах ЖЦ зданий и сооружений, что в корне ломает концепцию связности. Мы полагаем, что выходом, не противоречащим традиционному укладу, может стать создание единой мультидисциплинарной информационной системы обеспечения мониторинга следующего поколения, которая даст возможность всем исполнителям в структурированном виде аккумулировать результаты всего комплекса полевых наблюдений, начиная с самых ранних стадий строительства. К сожалению, для возможности практического внедрения такого подхода существующим на рынке программно-аппаратным решениям сильно не хватает функциональности. Усилия команды разработчиков «СОДИС ЛАБ» в настоящее время сконцентрированы на доведении программных продуктов до состояния, при котором станет возможна реализация подобного пилотного проекта. Добавляются возможности:

- развертывания в полевых условиях с отсутствующей инфраструктурой (нет совсем или отсутствует стабильное электропитание, экстремальные параметры окружающей среды);
- развертывания «в облаке» или локальной установке в штабе строительства с возможностью аварийного восстановления ИТ-инфраструктуры (Disaster Recovery);
- передачи данных наблюдений, производимых вручную, на периодической основе, в том числе для ручного их ввода на площадке строительства, используя смартфоны, планшеты, КПК и другие электронные терминалы;
- для автоматизированного распознавания содержимого отсканированных протоколов;
- для автоматической обработки содержимого карт памяти (даталоггеров, тахеометров, лазерных сканеров и т.п.);
- для автоматизированной идентификации измерительного прибора по тегу, цифровой метке, коду (QR-code, barcode, RFID);
- создания единой архивной среды для хранения отчетной документации по мониторингу (отчеты о наблюдениях, данных полевых и лабораторных исследований, отчетов по НТС);
- хранения цифрового регламента наблюдений — сервиса-календаря с автоматической постановкой задач по снятию измерений, контролю

исполнения этих задач и автоматизированной подготовкой отчетной документации;

- геоинформационного сервиса опорной сети системы геодезических наблюдений, содержащего информацию о реперных пунктах, их расположении, координатах и устройстве;

- сервиса для хранения результатов фотофиксации начальных несовершенств, дефектов и повреждений строительных конструкций в рамках входного контроля при производстве НТС, проведении периодических визуальных обследований;

- разработки интегрированных с единой информационной средой web-инструментов для решения частных задач по мониторингу конструкций: определения деформаций ограждающих конструкций котлована по показаниям скважинных инклинометров, построения изополей осадок при производстве геодезических работ по мониторингу основания и фундаментов, построения изополей кренов фундаментных конструкций по показаниям наклономеров, уравнивания геодезических сетей.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Шахраманьян А.М., Колотовичев Ю.А. Опыт использования автоматизированных систем мониторинга деформационного состояния несущих конструкций на Олимпийских объектах Сочи-2014 // Вестник МГСУ. 2015. № 12. С. 92–105. DOI: 10.22227/1997-0935.2015.12.92-105
2. Li H., Yuan C., Ren L., Jiang T. Structural health-monitoring system for roof structure of the Dalian gymnasium // *Advances in Structural Engineering*. 2019. Vol. 22. Issue 7. Pp. 1579–1590. DOI: 10.1177/1369433218819572
3. Zhou X.J., Yang R.Q., Ma X., Xu Y. Application of health monitoring technology in steel structure engineering of Jinan Olympic Sports Center // *Applied Mechanics and Materials*. 2014. Vol. 578–579. Pp. 1170–1176. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amm.578-579.1170
4. Травуш В.И., Шахраманьян А.М., Колотовичев Ю.А., Шахворостов А.И., Десяткин М.А., Шулятьев О.А. и др. «Лахта Центр»: автоматизированный мониторинг деформаций несущих конструкций и основания // *Academia. Архитектура и строительство*. 2018. № 4. С. 94–108. DOI: 10.22337/2077-9038-2018-4-94-108
5. Шахраманьян А.М. Методические основы создания систем мониторинга несущих конструкций уникальных объектов // Вестник МГСУ. 2011. Т. 1. № 1. С. 256–261.
6. Снежков Д.Ю., Леонович С.Н. Автоматизированный мониторинг состояния несущих конструкций зданий // Вестник Брестского государственного технического университета. Строительство и архитектура. 2017. № 1 (103). С. 92–97.
7. Багмет А.Л., Осика В.И., Костин А.Б., Тутчев Н.И., Трудненко А.И. Деформационный мониторинг здания гостиницы Националь // *Сейсмические приборы*. 2011. Т. 47. № 4. С. 55–63.
8. Borlenghi P., D'Angelo M., Ballio F., Gentile C. Continuous monitoring of masonry arch bridges to evaluate the scour action // *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2022. Vol. 200. Pp. 400–408. DOI: 10.1007/978-3-030-91877-4_46
9. Wang X., Ran Y., Zhu Y. Research on health monitoring for large span steel structures // *Earth and Space 2021 : Materials, Structures, Dynamics, and Control in Extreme Environments — Selected Papers from the 17th Biennial International Conference on Engineering, Science, Construction, and Operations in Challenging Environments*. Seattle, 2021. Pp. 507–516.
10. Park H.S., Lee H.Y., Choi S.W., Kim Y. A practical monitoring system for the structural safety of mega-trusses using wireless vibrating wire strain gauges // *Sensors*. 2013. Vol. 13. Issue 12. Pp. 17346–17361. DOI: 10.3390/s131217346
11. Di Re P., Lofrano E., Ciambella J., Romeo F. Structural analysis and health monitoring of twentieth-century cultural heritage: The Flaminio Stadium in Rome // *Smart Structures and Systems*. 2021. Vol. 27. Issue 2. Pp. 285–303. DOI: 10.12989/sss.2021.27.2.285
12. Teng J., Zhu Y.H., Zhou F., Li H., Ou J.P. Finite element model updating for large span spatial steel structure considering uncertainties // *Journal of Central South University of Technology*. 2010. Vol. 17. Issue 4. Pp. 857–862. DOI: 10.1007/s11771-010-0567-4
13. Caprioli A., Vanali M., Cigada A. One year of structural health monitoring of the Meazza Stadium in Milan : Analysis of the collected data // *Conference Proceedings of the Society for Experimental Mechanics Series*. 2009.
14. Гурьев В., Дорофеев В., Лысов Д., Акбиев Р. Основы мониторинга строительных объектов в период эксплуатации с использованием анализа изменения их динамических параметров // *Academia. Архитектура и строительство*. 2021. № 3. С. 89–100. DOI: 10.22337/2077-9038-2021-3-89-10
15. Шахраманьян А.М. Локализация мест изменения напряженно-деформированного состояния строительных конструкций на основе данных вибродиагностических измерений // Вестник МГСУ. 2014. № 9. С. 54–66. DOI: 10.22227/1997-0935.2014.9.54-66
16. Шаблинский Г.Э., Зубков Д.А. Натурные динамические исследования строительных конструкций. М. : Изд-во АСВ, 2009. 216 с.
17. Diord S., Magalhães F., Cunha Á., Caetano E., Martins N. Automated modal tracking in a football

stadium suspension roof for detection of structural changes // *Structural Control & Health Monitoring*. 2017. Vol. 24. Issue 11. DOI: 10.1002/stc.2006

18. Cigada A., Caprioli A., Redaelli M., Vannali M. Vibration testing at Meazza stadium: Reliability of operational modal analysis to health monitoring purposes // *Journal of Performance of Constructed Facilities*. 2008. Vol. 22. Issue 4. Pp. 228–237. DOI: 10.1061/(ASCE)0887-3828(2008)22:4(228)

19. Peeters B., De Roeck G. One-year monitoring of the Z24-bridge: Environmental effects versus damage events // *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*. 2001. Vol. 30. Issue 2. Pp. 149–171. DOI: 10.1002/1096-9845(200102)30:2<149::AID-EQE1>3.0.CO;2-Z

20. De Roeck G. The state-of-the-art of damage detection by vibration monitoring: The SIMCES experience // *Journal of Structural Control*. 2003. Vol. 10. Issue 2. Pp. 127–134. DOI: 10.1002/stc.20

21. Lucà F., Manzoni S., Cigada A. Vibration-based damage feature for long-term structural health monitoring under realistic environmental and operational variability // *Structural Health Monitoring*

Based on Data Science Techniques. 2021. Pp. 289–307. DOI: 10.1007/978-3-030-81716-9_14

22. Фарфель М.И., Гукова М.И., Кондратов Д.Ю., Коняшин Д.Ю. Аprobированная методика проведения мониторинга в зданиях и сооружениях // *Вестник НИЦ. Строительство*. 2021. № 1 (28). С. 110–123. DOI: 10.37538/2224-9494-2021-1(28)-110-123

23. Kita A., Cavalagli N., Ubertini F. Temperature effects on static and dynamic behavior of Consoli Palace in Gubbio, Italy // *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2019. Vol. 120. Pp. 180–202. DOI: 10.1016/j.ymssp.2018.10.021

24. Martins N., Caetano E., Amador S., Magalhães F., Cunha T. Dynamic monitoring of a stadium suspension roof: Wind and temperature influence on modal parameters and structural response // *Engineering Structures*. 2014. No. 59. pp. 80–94. DOI: 10.1016/j.engstruct.2013.10.021

25. Peng L., Jing G., Yun L., Qingyun Y., Wang Y., Zhang B. Temperature and strain correlation of bridge parallel structure based on vibrating wire strain sensor // *Sensors*. 2020. Vol. 20. Issue 3. P. 658. DOI: 10.3390/s20030658

Поступила в редакцию 24 января 2022 г.

Принята в доработанном виде 23 марта 2022 г.

Одобрена для публикации 23 марта 2022 г.

ОБ АВТОРАХ: Юрий Александрович Колотовичев — кандидат технических наук, доцент кафедры строительной и теоретической механики; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ);** 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; директор по научной работе; **СОДИС ЛАБ;** 121205, г. Москва, территория Инновационного центра «Сколково», ул. Нобеля, д. 5; РИНЦ ID: 829386, Scopus: 57209541589, ORCID: 0000-0002-4030-2893, ResearcherID: AAC-3892-2022; ykol@sodislab.com;

Андрей Михайлович Шахрамьян — кандидат технических наук, генеральный директор; **СОДИС ЛАБ;** 121205, г. Москва, территория Инновационного центра «Сколково», ул. Нобеля, д. 5; РИНЦ ID: 478927, Scopus: 57217098689, info@sodislab.com.

Вклад авторов:

Колотовичев Ю.А. — идея, сбор и обработка материала, написание исходного текста, подготовка иллюстраций.

Шахрамьян А.М. — научное редактирование текста, обзор существующих разработок, итоговые выводы.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Shakhraman'yan A.M., Kolotovich Yu.A. Experience of using automated monitoring systems of the strain state of bearing structures on the Olympic Objects Sochi-2014. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2015; 12:92-105. DOI: 10.22227/1997-0935.2015.12.92-105 (rus.).

2. Li H., Yuan C., Ren L., Jiang T. Structural health-monitoring system for roof structure of the Dalian gymnasium. *Advances in Structural Engineering*. 2019; 22(7):1579-1590. DOI: 10.1177/1369433218819572

3. Zhou X.J., Yang R.Q., Ma X., Xu Y. Application of health monitoring technology in steel structure engineering of Jinan Olympic Sports Center. *Applied Mechanics and Materials*. 2014; 578-579:1170-1176. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amm.578-579.1170

4. Travush V.I., Shakhramyan A.M., Kolotovich Y.A., Shakhvorostov A.I., Desyatkin M.A., Shulyatyev O.A. et al. Lakhta Center: Automated structural and geotechnical health monitoring. *Academia. Architecture and Construction*. 2018; 4:94-108. DOI: 10.22337/2077-9038-2018-4-94-108 (rus.).

5. Shakhramanyan A.M. System of high-rise building's structural monitoring. Practice of engineering and creating. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2011; 1(1):256-261. (rus.).
6. Snezhkov D.Yu., Leonovich S.N. The automated monitoring of the state of load-bearing buildings structures. *Bulletin of the Brest State Technical University. Construction and architecture*. 2017; 1(103):92-97. (rus.).
7. Bagmet A.L., Osika V.I., Kostin A.B., Titchev N.I., Trudnenko A.I. Deformation monitoring of the building of the hotel national. *Seismicheskie Pri-bory*. 2011; 47(4):55-63. (rus.).
8. Borlenghi P., D'Angelo M., Ballio F., Gentile C. Continuous monitoring of masonry arch bridges to evaluate the scour action. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2022; 200:400-408. DOI: 10.1007/978-3-030-91877-4_46
9. Wang X., Ran Y., Zhu Y. Research on health monitoring for large span steel structures. *Earth and Space 2021: Materials, Structures, Dynamics, and Control in Extreme Environments — Selected Papers from the 17th Biennial International Conference on Engineering, Science, Construction, and Operations in Challenging Environments*. Seattle, 2021; 507-516.
10. Park H.S., Lee H.Y., Choi S.W., Kim Y. A Practical monitoring system for the structural safety of mega-trusses using wireless vibrating wire strain gauges. *Sensors*. 2013; 13(12):17346-17361. DOI: 10.3390/s131217346
11. Di Re P., Lofrano E., Ciambella J., Romeo F. Structural analysis and health monitoring of twentieth-century cultural heritage: The Flaminio Stadium in Rome. *Smart Structures and Systems*. 2021; 27(2):285-303. DOI: 10.12989/sss.2021.27.2.285
12. Teng J., Zhu Y.H., Zhou F., Li H., Ou J.P. Finite element model updating for large span spatial steel structure considering uncertainties. *Journal of Central South University of Technology*. 2010; 17(4):857-862. DOI: 10.1007/s11771-010-0567-4
13. Caprioli A., Vanali M., Cigada A. One year of structural health monitoring of the Meazza Stadium in Milan: Analysis of the collected data. *Conference Proceedings of the Society for Experimental Mechanics Series*. 2009.
14. Guryev V.V., Dorofeev V.M., Lysov D.A., Akbiev R.T. Foundations of monitoring for structural objects during exploitation on the base of analysis of changes in its dynamic parameters. *Academia. Architecture and Construction*. 2021; 3:89-100. DOI: 10.22337/2077-9038-2021-3-89-10 (rus.).
15. Shakhraman'yan A.M. Localization of the places of stress-strain state changes of building structures based on the vibrodiagnostic measurement data. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2014; 9:54-66. DOI: 10.22227/1997-0935.2014.9.54-66 (rus.).
16. Shablinskiy G.E., Zubkov D.A. *Full-scale dynamic studies of building structures*. Moscow, ASV, 2009; 217. (rus.).
17. Diord S., Magalhães F., Cunha Á., Caetano E., Martins N. Automated modal tracking in a football stadium suspension roof for detection of structural changes. *Structural Control & Health Monitoring*. 2017; 24(11). DOI: 10.1002/stc.2006
18. Cigada A., Caprioli A., Redaelli M., Vanali M. Vibration testing at Meazza stadium: Reliability of operational modal analysis to health monitoring purposes. *Journal of Performance of Constructed Facilities*. 2008; 22(4):228-237. DOI: 10.1061/(ASCE)0887-3828(2008)22:4(228)
19. Peeters B., De Roeck G. One-year monitoring of the Z24-bridge: Environmental effects versus damage events. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*. 2001; 30(2):149-171. DOI: 10.1002/1096-9845(200102)30:2<149::AID-EQE1>3.0.CO;2-Z
20. De Roeck G. The state-of-the-art of damage detection by vibration monitoring: The SIMCES experience. *Journal of Structural Control*. 2003; 10(2):127-134. DOI: 10.1002/stc.20
21. Lucà F., Manzoni S., Cigada A. Vibration-based damage feature for long-term structural health monitoring under realistic environmental and operational variability. *Structural Health Monitoring Based on Data Science Techniques*. 2021; 289-307. DOI: 10.1007/978-3-030-81716-9_14
22. Farfel M., Gukova M., Kondrashov D., Konyashin D. Proven methods of monitoring in buildings and structures. *Bulletin of SIC Construction*. 2021; 1(28):110-123. DOI: 10.37538/2224-9494-2021-1(28)-110-123 (rus.).
23. Kita A., Cavalagli N., Ubertini F. Temperature effects on static and dynamic behavior of Consoli Palace in Gubbio, Italy. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2019; 120:180-202. DOI: 10.1016/j.ymssp.2018.10.021
24. Martins N., Caetano E., Amador S., Magalhães F., Cunha T. Dynamic monitoring of a stadium suspension roof: Wind and temperature influence on modal parameters and structural response. *Engineering Structures*. 2014; 59:80-94. DOI: 10.1016/j.eng-struct.2013.10.021
25. Peng L., Jing G., Yun L., Qingyun Y., Wang Y., Zhang B. Temperature and strain correlation of bridge parallel structure based on vibrating wire strain sensor. *Sensors*. 2020; 20(3):658. DOI: 10.3390/s20030658

Received January 24, 2022.

Adopted in revised form on March 23, 2022.

Approved for publication on March 23, 2022.

B I O N O T E S: **Yury A. Kolotovich** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Structural and Theoretical Mechanics; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; R&D Director; **SODIS LAB**; 5 Nobel st., Skolkovo Innovation center, Moscow, 121205, Russian Federation; ID RISC: 829386, Scopus: 57209541589, ORCID: 0000-0002-4030-2893, ResearcherID: AAC-3892-2022, ykol@sodislab.com;

Andrey M. Shakhramanyan — Candidate of Technical Sciences, Director General; **SODIS LAB**; 5 Nobel st., Skolkovo Innovation center, Moscow, 121205, Russian Federation; ID RISC: 478927, Scopus: 57217098689; info@sodislab.com.

Contribution of the authors:

Kolotovich Y.A. — concept, data processing, source text and illustration development.

Shakhramanyan A.M. — text editing, review of related studies, conclusions.

The authors declare no conflict of interest.

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 531.36

DOI: 10.22227/1997-0935.2022.3.331-340

Моделирование амплитуды колебаний статически неопределимой плоской рамы, испытывающей ударную нагрузку, с учетом контактной деформации

Анатолий Александрович Битюрин

Ульяновский государственный технический университет (УлГТУ); г. Ульяновск, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Рассматриваются поперечные колебания стойки жестко заделанной статически неопределимой плоской рамы, испытывающей падение груза заданной массы и предударной скорости. Вертикальная стойка рамы имеет начальную кривизну, наличие которой влияет на максимальную амплитуду возникающих при ударе поперечных колебаний.

Материалы и методы. Удар груза о ригель рамы моделируется при учете деформации в области контакта, что оправдано с точки зрения точности проводимых расчетов, поскольку в противном случае величина ударной силы окажется завышенной. При моделировании поперечного удара груза о ригель рамы принимается, что падающий груз имеет форму цилиндра с определенной длиной образующей. Используется линеаризация зависимости между усилием и деформацией цилиндрических поверхностей. Стойка рамы с учетом ее связи с ригелем и основанием представляет собой жестко заделанный по обоим концам однородный стержень. При ударном воздействии груза на ригель рамы верхний конец стойки воспринимает начальный изгибающий момент и поперечную силу, величины которых зависят от массы и предударной скорости груза, а также от формы закрепления ригеля и соотношения осевых моментов инерции сечений ригеля и стойки в плоскости рамы. С применением метода начальных параметров рассчитывается максимальный прогиб идеально прямой и искривленной стойки при различной предударной скорости груза. Максимальный прогиб моделировался для искривленной и идеально прямой стойки при различных предударных скоростях груза одинаковой массы.

Результаты. Получена зависимость величины максимального прогиба вертикальной стойки рамы от предударной скорости падающего груза.

Выводы. Выявлена зависимость максимального прогиба стойки от ее начального состояния. При наличии начальной кривизны максимальный прогиб существенно увеличивается. С приближением предударной скорости падающего груза к величине, соответствующей критической продольной силе, наблюдается замедление роста максимального прогиба. Исследование актуально для расчетов элементов конструкций самого различного назначения, испытывающих воздействие ударной нагрузки.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: рама, стойка, ригель, прогиб, колебания, груз, скорость, масса, деформация

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Битюрин А.А. Моделирование амплитуды колебаний статически неопределимой плоской рамы, испытывающей ударную нагрузку, с учетом контактной деформации // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 3. С. 331–340. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.3.331-340

Благодарности. Автор выражает благодарность рецензентам за проявленное внимание, полезные замечания и рекомендации.

Автор, ответственный за переписку: Анатолий Александрович Битюрин, sntk_2015@mail.ru.

Modeling of the oscillation amplitude of a statically indeterminate flat frame subjected to the impact load with account taken of the contact deformation

Anatoliy A. Bityurin

Ulyanovsk State Technical University (UISTU); Ulyanovsk, Russian Federation

ABSTRACT:

Introduction. The article addresses transverse vibrations of a post in a rigidly fixed statically indeterminate flat frame subjected to the falling load, having pre-set mass and pre-impact velocity. The post of a vertical frame has initial curvature affecting the maximum amplitude of transverse vibrations triggered by the impact.

Materials and methods. In the course of modeling, the frame beam impact takes account of deformations in the contact area to ensure the accuracy of calculations, because otherwise the impact force value will be overestimated. It is assumed that the falling load has the shape of a cylinder featuring a certain length, when the transverse load impact on a frame beam is simulated. The linearization of the relationship between the force and the deformation of cylindrical surfaces is used. The frame post, connected to the beam and the base, is a homogeneous rod rigidly fixed at both ends. Following the load impact on the frame beam, the top end of the post absorbs the initial bending moment and the shear force, whose values depend on the

mass the and pre-impact velocity of the load, the beam attachment method, and the ratio between axial moments of inertia in beam and post sections in the plane of the frame. Using the method of initial parameters, the maximum deflection of a perfectly straight and curved post is calculated for different pre-impact velocity values of the load. The maximum deflection was modeled for curved and perfectly straight posts at different pre-impact velocities of a load having the same mass.

Results. The dependence between the value of maximum deflection of a vertical frame post and the pre-impact velocity of the falling load was obtained.

Conclusions. Simulation results were used to identify the dependence between the maximum deflection of the post and its initial state. In case of initial curvature, the maximum deflection increases significantly. As the pre-impact velocity of the falling load approaches the value corresponding to the critical longitudinal force, a slowdown in the growth of maximum deflection is observed. The work is particularly relevant for the calculations of structural elements subjected to impact loads.

KEYWORDS: frame, post, beam, deflection, vibrations, load, velocity, mass, deformation

FOR CITATION: Bityurin A.A. Modeling of the oscillation amplitude of a statically indeterminate flat frame subjected to the impact load with account taken of the contact deformation. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2022; 17(3):331-340. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.3.331-340 (rus.).

Acknowledgements: The author would like to thank reviewers for their attention to his work, as well as their useful comments and recommendations.

Corresponding author: Anatoliy A. Bityurin, sntk_2015@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Решение задач расчета механических систем на динамическую нагрузку имеет неоспоримую практическую значимость, поскольку неучет динамического характера взаимодействия элементов конструкций существенно сказывается на точности проводимых расчетов, а нередко приводит и к неверному результату [1–22].

Основную сложность решения таких задач представляет их нелинейность. К динамическим задачам следует отнести расчет колебательных процессов под действием внезапно приложенных или ударных нагрузок. Особенно усложняется решение задач, в которых, помимо возникающих сил инерции при динамическом взаимодействии, дополнительно учитываются появляющиеся деформации в области ударного взаимодействия тех или иных элементов.

В строительной отрасли актуально решение динамических задач, требующееся при расчетах стержневых систем, в частности рамных конструкций, на ударную нагрузку. Ударное влияние на рамные конструкции имеет широкое распространение как в технологическом процессе, так и в случае возникновения аварийных ситуаций. К ним можно отнести взрыв, землетрясение, то или иное воздействие транспорта и проч. В этой связи обозначенная проблема очень важна.

В известных исследованиях [23–27] динамический расчет реализовывался для идеальных прямолинейных стержневых элементов, не имеющих дефектов в виде кривизны, трещин в материале и т.д., и при отсутствии начальных внешних воздействий в виде изгибающего момента и поперечной силы. Однако в реальных конструкциях подобная ситуация практически не наблюдается, поскольку всегда присутствуют те или иные дефекты или несовершенства в виде кривизны, эксцентриситета. В случаях с плоской рамой возникает дополнительная начальная нагрузка в жестких узлах. Следует также отметить, что расчеты на динамическую нагрузку производились без учета появляющихся деформаций

в области контакта соударяемых тел, т.е. как для абсолютно жестких сред, что приводило к завышенным значениям ударных сил и неверным величинам возникающих деформаций.

Вследствие упругой деформации в месте контакта процесс удара усложняется, и происходит несколько повторных соударений. Впервые учет местных деформаций в месте контакта для стержня осуществлен С.П. Тимошенко [28]. В дальнейшем его теория была использована другими исследователями, в частности Б.М. Абрамовым и А.Б. Абрамовым [29]. В своей работе они рассматривают колебания и усилия, возникающие от удара упругого стержня о середину двухопорной балки [8]. Частным случаем является удар твердого тела о балку и продольный удар упругого стержня о жесткую преграду.

В современных научных трудах обсуждается решение задач устойчивости упругих арок при наличии стягивающих нитей [30], исследуются изгибные волны в балке, имеющей повреждения в материале [31], разрабатываются модели изгиба упругих тонких стержней с применением метода конечных элементов [32]. Как отмечено авторами публикаций [30–32], намеченные подходы к решению поставленных задач актуальны для повышения точности соответствующих технических расчетов.

Таким образом, проблема моделирования влияния тех или иных внешних воздействий, в том числе и динамических, на дальнейшее поведение различного рода стержневых систем, имеющих широчайшее распространение, на сегодняшний день довольно ярко выражена, несмотря на нередко кажущееся ее отсутствие или несущественность.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В настоящей работе разрабатывается модель расчета максимального прогиба вертикальной стойки плоской статически неопределимой рамы (рис. 1). Рама заделана по обоим концам и испытывает действие падающего на нее груза массы m_2 , имеющего

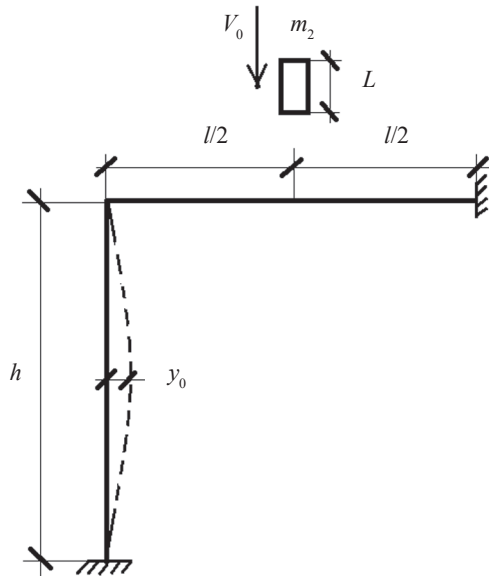


Рис. 1. Схема соударения груза с рамой

Fig. 1. Collision between the load and the frame

предударную скорость V_0 . Груз представляет собой цилиндр с длиной, образующей L , что позволяет использовать линеаризацию зависимости между усилием и деформацией цилиндрических поверхностей [29]. Учитывается начальная кривизна y_0 стойки рамы.

Сила действующая на ригель при ударе падающего на него груза, а также продолжительность ее действия, рассчитываются с учетом местной деформации в зоне удара, которая считается пропорциональной ударной силе [29]. Размеры поперечного сечения падающего груза, представляющего собой цилиндрический стержень, считаются малыми, что дает возможность рассматривать ударную силу как сосредоточенную.

В процессе удара на искривленную вертикальную стойку — жестко заделанный стержень по обоим торцам, будут воздействовать кратковременные продольная и поперечная нагрузки, изгибающий момент, вследствие чего возникнут поперечные колебания стойки. Амплитуда колебаний будет рассчитана методом начальных параметров с применением волновой модели продольного удара, учитывая, что указанные выше нагрузки являются кратковременными [33–36].

С использованием подхода [29], рассматривающего удар стержня о шарнирно-опертую балку, рассчитывается максимальное значение ударной силы в месте контакта груза и ригеля рамы в зависимости от предударной скорости V_0 .

При моделировании поперечных колебаний ригеля принимаем его в виде балки, жестко заделанной по обоим торцам. Уравнения поперечных колебаний с учетом инерции поворота, но без учета

поперечных сдвигов и продольных колебаний, следующие [29]:

$$\begin{aligned} \varphi^4 (d^4 y / dx^4) + (d^2 y / dt^2) - r^2 (d^4 y / dx^2 dt^2) &= 0, \\ \varphi^4 &= E_1 I_1 / m_1, 0 \leq x \leq l - 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Волновое уравнение для ударного груза (стержня)

$$\begin{aligned} (d^2 y / dt^2) - a^2 (d^2 y / dx^2) &= 0, \\ a^2 &= E_2 / \rho l + 0 \leq x \leq l + L, \end{aligned} \quad (2)$$

где E_1 и E_2 — модули упругости материала ригеля и груза; I_1 и r — момент и радиус инерции сечения ригеля; m_1 — масса единицы длины ригеля; ρ — плотность материала груза (стержня).

В дальнейшем для удобства решения делается следующая замена:

$$\begin{aligned} x_1 &= x \text{ для } 0 \leq x \leq l - 0, \\ x_1 &= l + \alpha(x - l) \text{ для } l + 0 \leq x \leq l + L, \end{aligned} \quad (3)$$

где α — некоторая постоянная. Соответствующим выбором α можно упростить ортогонализацию собственных функций. Для значений $x = 0, l, l + L$ соответствуют величины $x_1 = 0, l, l + \alpha L$ [29].

Уравнение (1) не изменится, уравнение (2) примет вид:

$$-a^2 \alpha^2 (d^2 y / dx_1^2) + d^2 y / dt^2 = 0; \quad (4)$$

$$\begin{aligned} -\varphi^4 (x_1) (d^4 y / dx_1^4) - a^2 (x_1) \alpha^2 (d^2 y / dx_1^2) + \\ + d^2 y / dt^2 - r^2 (x_1) (d^4 y / dx_1^2 dt^2) &= 0, \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} -\varphi^4 (x_1), a^2 (x_1), r^2 (x_1), \\ \varphi^4 (x_1) = \varphi^4, r^2 (x_1) = r^2 \text{ при } 0 \leq x_1 \leq l - 0, \end{aligned} \quad (6)$$

$$\varphi^4 (x_1) = r^2 (x_1) = 0, \text{ при } l + 0 \leq x_1 \leq l + \alpha L.$$

$$y = \sum_{k=1}^{\infty} y_k = \sum_{k=1}^{\infty} T_k(t) X_k(x_1), \quad (7)$$

где функции X_k — разрывные в точке $x = l$ в точке касания балки и груза [29].

Подставив y_k в уравнение (5) и разделив переменные, получим

$$\ddot{T}_k + \omega_k^2 T_k = 0, \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \varphi^4 (x_1) X_k^{IV} - a^2 (x_1) \alpha^2 \ddot{X}_k - \omega_k^2 X_k + \\ + r^2 (x_1) \omega_k^2 \ddot{X}_k &= 0, \end{aligned} \quad (9)$$

где ω_k — неизвестные частоты колебаний.

Далее, после задания начальных и граничных условий [29], определяется параметр α с целью ортогонализации функции X_k . Решая полученные уравнения (9) для интервалов $0 \leq x_1 \leq l - 0$ и $l + 0 \leq x_1 \leq l + \alpha L$ с учетом заданных граничных условий:

$$X_k = \alpha_k \sin(s_1 x_1) + \beta_k sh(s_2 x_1), 0 \leq x_1 \leq l - 0 \quad (10)$$

$$u X_k = [\gamma_k \cos(\omega_k / a\alpha)](l + \alpha L - x_1) \quad (11)$$

$$l + 0 \leq x_1 \leq l + \alpha L,$$

где

$$s_{1,2}^2 = (\omega_k / 2\varphi^4) \left(\sqrt{r^4 \omega_k^2 + 4\varphi^4} \pm r^2 \omega_k \right). \quad (12)$$

Задаваясь произвольно одной постоянной [29] и используя заданные граничные условия, β_k , γ_k и ω_k рассчитываются из следующих выражений:

$$s_1 \cos(s_1 l) + s_2 \beta_k \operatorname{ch}(s_2 l) = 0 \quad (13)$$

$$\gamma_k = (2m_1 s_1 / a\theta) \left(\sqrt{r^4 \omega_k^2 + 4\varphi^4} \right) (\cos(s_1 l) / \sin(\omega_k / a) L), \quad (17)$$

$$(2m_1 s_1 \omega_k / c) = (2m_1 s_1 / a\theta) \operatorname{ctg}(\omega_k L / a) - \left(\operatorname{tg}(s_1 l - (s_1 / s_2) \operatorname{th}(s_2 l) / \sqrt{r^4 \omega_k^2 + 4\varphi^4}) \right), \quad (18)$$

где $\theta = m_2 / L$.

Уравнение (18), в которое нужно подставить значения s_1 и s_2 , определяет частоты ω_k .

Отмечается, что колебания достаточно полно описываются несколькими первыми членами ряда (7) $r^4 \omega_k^2 \ll 4\varphi^4$, тогда, разложив s_1 , s_2 и $\sqrt{r^4 \omega_k^2 + 4\varphi^4}$ по степеням $\varepsilon = (r^4 \omega_k / 4\varphi^4)$, можно ограничиться двумя первыми членами разложения [29]. В этом случае уравнение (18) существенно упростится. Однако при исследовании удара необходимо учитывать высокочастотные колебания, при которых величина $r^4 \omega_k^2$ соизмерима с $4\varphi^4$ [29].

Функции $T_k(t)$ из уравнения (8) примут вид

$$T_k = A_k \sin(\omega_k t) + B_k \cos(\omega_k t). \quad (19)$$

Задаются начальные условия:

$$\begin{aligned} \text{а) } y = 0 \text{ при } 0 \leq x_1 \leq \alpha L; \\ \text{б) } (dy/dt) = f(x_1), \end{aligned} \quad (20)$$

где $f(x_1) = 0$ при $0 \leq x_1 \leq l - 0$ и $f(x_1) = v$ при $l + 0 \leq x_1 \leq l + \alpha L$;

$$\begin{aligned} \text{а) } \sum_{k=1}^{\infty} B_k X_k = 0; \\ \text{б) } \sum_{k=1}^{\infty} A_k \omega_k X_k = f(x_1). \end{aligned} \quad (21)$$

Из уравнения (21 а) $B_k = 0$.

Далее, опуская математические преобразования [29] и вводя обозначения $\delta_1 = (m_2 / 2m_1 l)$, $\delta_2 = (cl^3 / 6E_1 I_1)$, $(\sqrt{\omega_k} / \varphi) l = \phi_k$, получим окончательное выражение для расчета ударной силы P , возникающей в месте контакта груза и ригеля рамы:

$$\begin{aligned} P = (m_2 V_0 / l^2) \sqrt{E_1 I_1 / m_1} \times \\ \times \sum_{k=1}^{\infty} \left(\varphi_k^2 \sin(\varphi_k^2 / l^2) \varphi^2 t \right) / 1 + (\delta_1 \varphi_k^2 / 4l) \times \\ \times \int_0^l \left(\sin(\varphi_k / l) x / \cos \varphi_k - (sh(\varphi_k / l) x / ch \varphi_k) \right)^2 dx. \end{aligned} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} -s_1^3 \cos(s_1 l) + s_2^3 \beta_k \operatorname{ch}(s_2 l) + (c / 2E_1 I_1) \times \\ \times (\gamma_k \cos(\omega_k L / a) - \sin(s_1 l) - \beta_k sh(s_2 l)) = 0, \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \gamma_k (\omega_k / a) \sin(\omega_k L / a) - (c / E_2 A_2) \times \\ \times (\gamma_k \cos(\omega_k L / a) - \sin(s_1 l) - \beta_k sh(s_2 l)) = 0, \end{aligned} \quad (15)$$

где A_2 — площадь сечения груза (стержня).

С учетом формул (13)–(15) находим:

$$\beta_k = -(s_1 \cos(s_1 l) / s_2 \operatorname{ch}(s_2 l)), \quad (16)$$

Числитель и подынтегральное выражение в знаменателе дроби в уравнении (22) зависят только от характеристик балки, множитель перед интегралом зависит также и от массы падающего груза.

Учитывая вид закрепления ригеля рассматриваемой рамы и приложенную по середине его длины ударную силу, устанавливаем величину продольной нагрузки, действующей на вертикальную стойку $N = 0,329 P$ [37].

В процессе ударного взаимодействия к стойке будут приложены продольная сила N , изгибающий момент M и поперечная сила Q (рис. 2), после завершения действия которых стойка будет совершать поперечные колебания. Максимальный прогиб стойки рамы удобно вычислять методом начальных параметров, которыми будут являться продольная и поперечная силы, изгибающий момент, а также начальная кривизна y_0 [33]. Для этого применительно к стойке (рис. 2) решается дифференциальное уравнение изогнутой оси стержня постоянного поперечного сечения, несущего равномерно распределенную массу [33]:

$$(dy^4 / d\xi^4) + v^2 (d^2 y / d\xi^2) - u^4 y = 0, \quad (23)$$

где y — прогиб оси стержня (стойки); $\xi = x/h$ — относительная координата; $v^2 = Nh^2 / EI_2$; $u^4 = (m\omega^2 h^4 / EI_2)$; N — продольная сила (положительная при сжатии); h — высота стойки; EI_2 — жесткость стойки при изгибе; m — интенсивность массы; ω_2 — частота свободных колебаний стойки.

Составим характеристическое уравнение, соответствующее уравнению (23):

$$\lambda^4 + v^2 \lambda^2 - u^4 = 0 \quad (24)$$

и его корни будут [33]

$$\begin{aligned} \lambda_1^2 = -(v^2 / 2) - \sqrt{(v^4 / 4) + u^4}, \\ \lambda_2^2 = -(v^2 / 2) + \sqrt{(v^4 / 4) + u^4}. \end{aligned} \quad (25)$$

В зависимости от направления продольной силы (сжатие или растяжение) u^4 и v^2 принимают

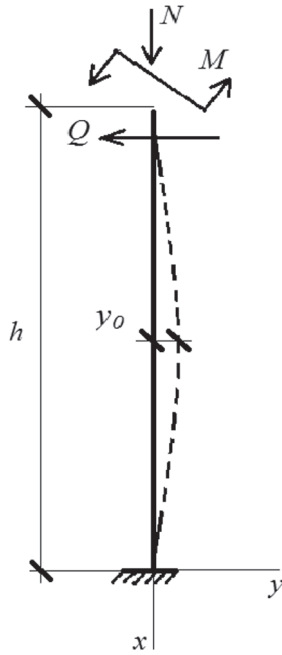


Рис. 2. Начальные параметры стойки рамы

Fig. 2. Initial parameters of the frame post

как положительные, так и отрицательные значения, поэтому корни (25) могут быть вещественными, чисто мнимыми или комплексными сопряженными числами.

Общий интеграл уравнения (24) при отсутствии кратных корней можно записать в виде ряда

$$y = \sum_{j=1,2} (A_j sh \lambda_j \xi + B_j ch \lambda_j \xi), \quad (26)$$

где A_j, B_j — постоянные интегрирования; λ_j — корни характеристического уравнения (24).

Выражение (26) для прогибов стержня дает возможность составить формулы усилий и углов поворота сечений стержней, если воспользоваться дифференциальными зависимостями [33]

$$\begin{aligned} \varphi &= (dy/dx), \quad M = -EI_2 (d^2 y/dx^2), \\ Q^N &= -EI_2 (d^3 y/dx^3), \end{aligned} \quad (27)$$

где φ, M — амплитуды угла поворота и изгибающего момента в сечениях; Q^N — амплитуда поперечной силы, перпендикулярной к изогнутой оси стержня [33].

Для удобства обозначения примем

$$\tilde{\varphi} = h\varphi, \quad \tilde{M} = Mh^2/EI_2, \quad \tilde{Q}^N = Q^N h^3/EI_2. \quad (28)$$

Тогда искомые зависимости запишутся в более простой форме

$$\begin{aligned} \tilde{\varphi} &= dy/d\xi, \quad \tilde{M} = -d^2 y/d\xi^2, \\ \tilde{Q}^N &= -d^3 y/d\xi^3 \end{aligned} \quad (29)$$

или в рядах:

$$\tilde{\varphi} = \sum_{j=1,2} \lambda_j (A_j ch \lambda_j \xi + B_j sh \lambda_j \xi), \quad (30)$$

$$\tilde{M} = - \sum_{j=1,2} \lambda_j^2 (A_j sh \lambda_j \xi + B_j ch \lambda_j \xi), \quad (31)$$

$$\tilde{Q}^N = - \sum_{j=1,2} \lambda_j^3 (A_j ch \lambda_j \xi + B_j sh \lambda_j \xi). \quad (32)$$

Для получения формул метода начальных параметров необходимо постоянные интегрирования A_j и B_j выразить через усилия и перемещения сечения стойки рамы. Начало координат возьмем на верхнем конце стойки, где приложены начальные параметры M_0 и Q_0 . Эти параметры включают в себя начальный изгибающий момент, связанный с наличием кривизны стойки, а также момент и поперечную силу, возникающие со стороны ригеля в процессе удара. Введем приведенные величины: $\tilde{M}_0, \tilde{Q}_0$, определяемые по выражению (28).

Подчинив выражения (27), (30)–(32) условиям при $\xi = 0,5, y = y_0, \tilde{\varphi} = \tilde{\varphi}_0, \tilde{M} = \tilde{M}_0, \tilde{Q} = \tilde{Q}_0$, получим следующую систему уравнений для определения постоянных A_1, A_2, B_1, B_2 :

$$\begin{aligned} B_1 + B_2 &= y_0, \quad A_1 \lambda_1 + A_2 \lambda_2 = \tilde{\varphi}_0, \\ -B_1 \lambda_1^2 - B_2 \lambda_2^2 &= \tilde{M}_0, \end{aligned} \quad (33)$$

$$\lambda_1^2 \lambda_2^2 ((A_1/\lambda_1) + (A_2/\lambda_2)) = \tilde{Q}_0.$$

Если значения постоянных A_1, A_2, B_1, B_2 , найденные из системы (33), подставить в зависимости (27), (30)–(32), получим формулы метода начальных параметров [33]:

$$y = -y_0 \lambda_1^2 \lambda_2^2 F_\xi' + \tilde{\varphi}_0 F_\xi^{IV} - \tilde{M}_0 F_\xi^{III} - \tilde{Q}_0 F_\xi'', \quad (34)$$

$$\tilde{\varphi} = -y_0 \lambda_1^2 \lambda_2^2 F_\xi'' + \tilde{\varphi}_0 F_\xi^V - \tilde{M}_0 F_\xi^{IV} - \tilde{Q}_0 F_\xi''', \quad (35)$$

$$\tilde{M} = y_0 \lambda_1^2 \lambda_2^2 F_\xi''' + \tilde{\varphi}_0 F_\xi^{VI} - \tilde{M}_0 F_\xi^V - \tilde{Q}_0 F_\xi^{IV}, \quad (36)$$

$$\begin{aligned} \tilde{Q} &= -y_0 \lambda_1^4 \lambda_2^4 F_\xi + \tilde{\varphi}_0 \lambda_1^2 \lambda_2^2 F_\xi^{III} - \tilde{M}_0 \lambda_1^2 \lambda_2^2 F_\xi'' - \\ &\quad - Q_0 \lambda_1^2 \lambda_2^2 F_\xi', \end{aligned} \quad (37)$$

где

$$F_\xi = [1/(\lambda_2^2 - \lambda_1^2)] (sh \lambda_2 \xi / \lambda_2^3 - sh \lambda_1 \xi / \lambda_1^3), \quad (38)$$

$$\begin{aligned} F_\xi^I &= (dF_\xi/d\xi) = [1/(\lambda_2^2 - \lambda_1^2)] (ch \lambda_2 \xi / \lambda_2^2 - \\ &\quad - ch \lambda_1 \xi / \lambda_1^2), \end{aligned} \quad (39)$$

$$\begin{aligned} F_\xi^{II} &= (d^2 F_\xi / d\xi^2) = [1/(\lambda_2^2 - \lambda_1^2)] (sh \lambda_2 \xi / \lambda_2 - \\ &\quad - sh \lambda_1 \xi / \lambda_1), \end{aligned} \quad (40)$$

$$\begin{aligned} F_\xi^{III} &= (d^3 F_\xi / d\xi^3) = [1/(\lambda_2^2 - \lambda_1^2)] (ch \lambda_2 \xi - \\ &\quad - ch \lambda_1 \xi), \end{aligned} \quad (41)$$

$$\begin{aligned} F_\xi^{IV} &= (d^4 F_\xi / d\xi^4) = [1/(\lambda_2^2 - \lambda_1^2)] (\lambda_2 sh \lambda_2 \xi - \\ &\quad - \lambda_1 sh \lambda_1 \xi), \end{aligned} \quad (42)$$

$$\begin{aligned} F_\xi^V &= (d^5 F_\xi / d\xi^5) = [1/(\lambda_2^2 - \lambda_1^2)] (\lambda_2^2 ch \lambda_2 \xi - \\ &\quad - \lambda_1^2 ch \lambda_1 \xi), \end{aligned} \quad (43)$$

$$F_{\xi}^{\text{VI}} = \left(d^6 F_{\xi} / d\xi^6 \right) = \left[1 / (\lambda_2^2 - \lambda_1^2) \right] (\lambda_2^3 sh \lambda_2 \xi - \lambda_1^3 sh \lambda_1 \xi), \quad (44)$$

где λ_1 и λ_2 — корни характеристического уравнения, которые могут быть вещественными, мнимыми или комплексными числами в зависимости от величины и знака начальных параметров.

Формулы (34)–(37), полученные В.Г. Чудновским [33], выражают перемещения и усилия в любом сечении стойки в зависимости от начальных параметров. Таким образом, данный подход дает возможность рассчитать максимальный прогиб стойки с учетом действующей на нее нагрузки и имеющейся начальной кривизны.

Используя метод начальных параметров, выражение для максимального прогиба стойки рамы от падающего груза запишется в виде:

$$y_{\max} = \tilde{\varphi}_0 F_{\xi}^{\text{IV}} - \tilde{M}_0 F_{\xi}^{\text{III}} - \tilde{Q}_0 F_{\xi}^{\text{II}}, \quad (45)$$

где $\tilde{\varphi}_0 = \frac{h y_0}{h/2} = 2 y_0$, $\tilde{M}_0 = \frac{M h^2}{EI_2}$, $\tilde{Q}_0 = \frac{Q h^3}{EI_2}$. Момент M будет складываться из изгибающего момента $M_{01} = 0,022P$, возникающего в жестком узле рамы при ударе груза [37], и изгибающего момента $M_{01} = 0,329P y_0$ от действия продольной силы, приложенной к искривленной стойке. Поперечная сила Q в соответствии с работой [37] будет равна $0,0165P$, где P — ударная сила. При расчете величин Q и M_{01} в соответствии с [37] учитывалось соотношение моментов инерции сечений ригеля и стойки в плоскости рамы $I_1/I_2 = 10,5$. Тогда выражение (45) после подстановки примет вид

$$y_{\max} = 2 y_0 F_{\xi}^{\text{IV}} - \frac{P h^2}{EI_2} (0,022 + 0,329 y_0) F_{\xi}^{\text{III}} - \frac{0,0165 P h^3}{EI_2} F_{\xi}^{\text{II}}. \quad (46)$$

Для прямолинейной стойки ($y_0 = 0$) выражение для максимального прогиба запишется в виде

$$y_{\max} = - \frac{P h^2}{EI_2} 0,022 F_{\xi}^{\text{III}} - \frac{0,0165 P h^3}{EI_2} F_{\xi}^{\text{II}}. \quad (47)$$

Максимальное отклонение сечений стойки рамы от положения равновесия, которое и будет максимальным прогибом, легко определится по известной формуле [1]:

$$y_{\max}^* = \sqrt{y^2 + (y'^2 / \omega_2^2)}, \quad (48)$$

где y — максимальный прогиб, равный максимальной координате рассматриваемого сечения в момент прекращения действия внешних нагрузок; ω_2 — циклическая частота свободных поперечных колебаний стойки при отсутствии нагрузки. Учитывая формы связей стойки, устанавливаем параметр $\xi = 0,5$. Для первой формы поперечных колебаний ($n = 1$), как наиболее часто встречающейся на прак-

тике, имеем выражение циклической частоты поперечных колебаний в плоскости рамы при действующей продольной нагрузке на стойку:

$$\vartheta = \sqrt{1 - \frac{N}{P_{\text{кр}}}}, \quad (49)$$

где $P_{\text{кр}}$ — критическая продольная нагрузка.

Анализируя формулу (49), можно заключить, что с ростом продольной силы частота поперечных колебаний сжатой стойки ϑ будет уменьшаться и станет равна нулю при достижении продольной силы величины $P_{\text{кр}}$ по Эйлеру, что отмечено в трудах [34–36].

Частоту свободных поперечных колебаний стойки ω_2 по первой форме $n = 1$ можно рассчитать по формуле [1, 37]

$$\omega_2 = (\varphi^2 / h^2) \sqrt{(EI_2 / h m)}. \quad (50)$$

Параметр φ выбирается с учетом вида закрепления стойки по обоим торцам [1].

Предполагая гармонический закон колебательного процесса, имеем

$$y = y_{\max} \cos(\vartheta t) \text{ и } y' = y_{\max} \vartheta \sin(\vartheta t). \quad (51)$$

При малых значениях t максимальная скорость сечений будет

$$y' \approx y_{\max} \vartheta. \quad (52)$$

Подставляя значения частоты свободных колебаний ω_2 и скорость y' в формулу (48), получим искомый максимальный прогиб стойки рамы, равный максимальному перемещению ее сечений $y_{\max}^*$. В этом случае имеет место учет силы инерции, действующей при динамической нагрузке.

Рассмотрим удар груза в виде цилиндрического стержня массы $m_2 = 30$ кг о стальную жестко заделанную статически неопределимую раму (рис. 1). Предударная скорость груза 1 м/с. Предполагается, что груз падает на середину ригеля рамы, представляющего собой стержень длиной $l = 2$ м двутаврового сечения № 16 ($I = 873$ см⁴). Ригель жестко связан со стальной стойкой высотой $h = 2$ м прямоугольного поперечного сечения $0,05 \times 0,08$ м². Стойка имеет начальную кривизну $y_0 = 5$ мм в плоскости рамы, в связи с чем начальный угол поворота $\varphi_0 = (2 y_0 / h) = 0,005$ рад.

Расчет ударной силы P проводился в соответствии с уравнением (22) через интервалы времени $1 \cdot 10^{-5}$ с. Продолжительность ударного взаимодействия составила $7 \cdot 10^{-5}$ с, среднее значение ударной силы 20 кН.

Учитывая форму закрепления ригеля, а также соотношение моментов инерции сечений стойки и ригеля, в соответствии с публикацией [37] продольная сила N составит 6,58 кН, при $P_{\text{кр}} = 1081$ кН для стойки исследуемой рамы. Рассматривая стойку отдельно от остальной конструкции (рис. 2), устанавливаем значения $Q = 330$ Н,

$M_{01} = 440 \text{ Н} \cdot \text{м}$, $M_{02} = 32,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Циклическая частота свободных колебаний стойки $\omega_2 = 408,8 \text{ рад/с}$, параметры $v^2 = 0,24$, $u^2 = 500,55$. Для расчета коэффициентов F_{ξ}^{II} , F_{ξ}^{III} и F_{ξ}^{IV} вычисляем корни характеристического уравнения по формулам (25): $\lambda_1^2 = -22,493$; $\lambda_2^2 = 22,253$.

Подставляя значения λ_1^2 и λ_2^2 в формулы (40)–(42), учитывая $\bar{\lambda}_1 = i\lambda_1$, получим $F_{\xi}^{\text{II}} = -3,49 \cdot 10^{-4}$; $F_{\xi}^{\text{III}} = -2,77 \cdot 10^{-3}$; $F_{\xi}^{\text{IV}} = -0,0189$. После подстановки этих значений в выражение (34) для y_{max} получим $y_{\text{max}} = -0,22 \text{ мм}$. Однако такое значение прогиба возникает при постоянной продольной силе N . При кратковременном ее действии участок стойки будет только выведен из положения равновесия и далее предоставлен самому себе. Для гармонического закона изменения координаты сечения стойки $x = h/2$ имеем (53):

$$y = -0,22 \sin 9t, \quad (53)$$

где y указан в мм.

Циклическая частота колебаний кратковременно сжатой стойки рамы, рассчитанная по выражению (49), равна $\nu = 407,6 \text{ р/с}$. Отклонение сечения с координатой $x = h/2$ искривленного участка стойки при $t = 7 \times 10^{-5}$ секунды в соответствии с (53) будет равно $-5,13 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$. Согласно уравнению (52), поперечная скорость сечения $x = h/2$ после прекращения действия продольной нагрузки равна $0,0814 \text{ м/с}$. Тогда получаем величину максимального прогиба стойки рамы при свободных колебаниях в соответствии с уравнением (48): $y_{\text{max}}^* = 0,2 \text{ мм}$. Проведя аналогичные расчеты для прямолинейной стойки ($y_0 = 0$), получим $y_{\text{max}}^* = 0,14 \text{ мм}$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Используя для расчета максимального прогиба стойки рамы представленную методику расчета, в работе были получены значения амплитуд поперечных колебаний при различных значениях предударной скорости груза V_0 с учетом начальной кривизны $y_0 = 5 \text{ мм}$, и для идеально прямолинейной стойки. Результаты моделирования представлены

Значения максимального прогиба в зависимости от предударной скорости груза в случае искривленной и прямолинейной стойки

Values of maximum deflection depending on the pre-impact velocity of the load in the case of a curved and rectilinear post

y_0	$V_0 = 1 \text{ м/с}$ m/s	$V_0 = 5 \text{ м/с}$ m/s	$V_0 = 10 \text{ м/с}$ m/s	$V_0 = 15 \text{ м/с}$ m/s	$V_0 = 20 \text{ м/с}$ m/s	$V_0 = 25 \text{ м/с}$ m/s
$y_0 = 5 \text{ мм}$ mm	$y_{\text{max}}^* = 0,2 \text{ мм}$ mm	$y_{\text{max}}^* = 1,1 \text{ мм}$ mm	$y_{\text{max}}^* = 1,6 \text{ мм}$ mm	$y_{\text{max}}^* = 3,1 \text{ мм}$ mm	$y_{\text{max}}^* = 4,4 \text{ мм}$ mm	$y_{\text{max}}^* = 5,3 \text{ мм}$ mm
$y_0 = 0 \text{ мм}$ mm	$y_{\text{max}}^* = 0,14 \text{ мм}$ mm	$y_{\text{max}}^* = 0,6 \text{ мм}$ mm	$y_{\text{max}}^* = 0,9 \text{ мм}$ mm	$y_{\text{max}}^* = 1,8 \text{ мм}$ mm	$y_{\text{max}}^* = 2,9 \text{ мм}$ mm	$y_{\text{max}}^* = 3,4 \text{ мм}$ mm

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

В представленном исследовании с помощью метода начальных параметров и подхода, учитываю-

на графике (рис. 3). Числовые значения y_{max}^* в зависимости от V_0 для обоих случаев сведены в таблицу.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. При увеличении предударной скорости груза имеет место возрастание величины максимального прогиба для обоих случаев (линии 1 и 2).

2. Как видно из графика, для прямолинейной стойки при одинаковых величинах предударной скорости груза V_0 максимальный прогиб будет ниже — линия 2, чем в случае с искривленной стойкой — линия 1 (рис. 3).

3. При увеличении предударной скорости от 20 до 25 м/с наблюдается некоторое снижение крутизны графика, что может свидетельствовать о приближении соответствующей величины продольной силы N к ее критической величине для рассматриваемой стойки рамы. Подобная закономерность была отмечена в работах [34–36].

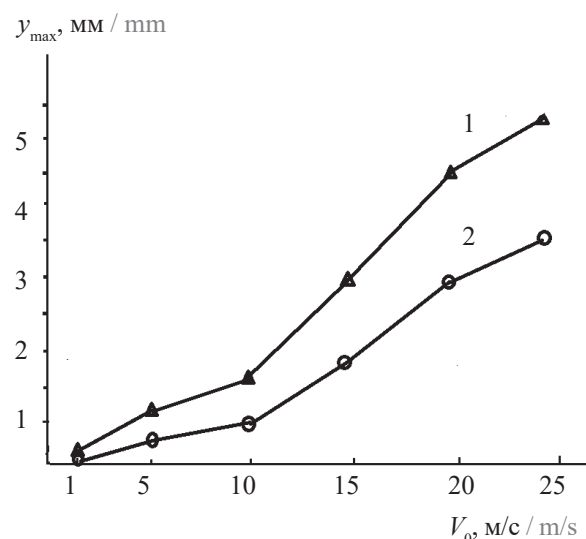


Рис. 3. График зависимости максимального прогиба стойки от скорости падения груза

Fig. 3. Dependence between the maximum deflection of the post and the velocity of the load

щего деформацию в области контакта соударяемых тел, изложена методика расчета максимального прогиба вертикальной стойки плоской статически неопределимой рамы. Учет местной деформации, как

указано выше, дает возможность получить более точные результаты расчета ударной силы, поскольку в этом случае учитывается рассеяние энергии удара. Моделируя соударение тел, как абсолютно жестких, значения ударной силы получаются завышенными, поэтому применение методики расчета, разработанной в труде [29] с использованием линеаризация зависимости между усилием и деформацией цилиндрических поверхностей, следует считать оправданным.

Применение метода начальных параметров для расчета максимального прогиба кратковременно сжатой стойки рамы от действия продольной ударной силы также оказалось достаточно эффективным,

поскольку этот метод позволил учесть изгибающий момент и поперечную силу, возникающие при ударе, в жестком узле рамы. Необходимо подчеркнуть, что эти два силовых фактора возникают в плоскости рамы. Колебания стойки в перпендикулярной плоскости в данной работе не рассматриваются.

Дальнейшее развитие обозначенных в статье подходов в своей совокупности даст возможность расчета более сложных стержневых систем, воспринимающих ударную нагрузку. Такие задачи актуальны при моделировании воздействий взрывов, землетрясений и прочих аварийных ситуаций, сопровождающихся динамическим воздействием на различные конструкции.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Филиппов А.П. Колебания деформируемых систем. М. : Машиностроение, 1970. 734 с.
2. Рахматулин Х.А., Демьянов Ю.А. Прочность при интенсивных кратковременных нагрузках. М. : Физматгиз, 1961. 399 с.
3. Новацкий В. Динамика сооружений / пер. с пол. канд. техн. наук доц. Л.В. Янушевича. М. : Госстройиздат, 1963. 376 с.
4. Безухов Н.И., Лужин О.В., Колкунов Н.В. Устойчивость и динамика сооружений в примерах и задачах. М. : Изд-во лит. по строительству, 1969. 424 с.
5. Пановко Я.Г., Губанова И.И. Устойчивость и колебания упругих систем. Современные концепции, парадоксы и ошибки. М. : Наука, 1987. 352 с.
6. Болотин В.В. Динамическая устойчивость упругих систем. М. : Гостехиздат, 1956. 600 с.
7. Снитко Н.К. Динамика сооружений. Л. ; М. : Госстройиздат, 1960. 356 с.
8. Алфутов Н.А. Основы расчета на устойчивость упругих систем. М. : Машиностроение, 1991. 334 с.
9. Болотин В.В. Неконсервативные задачи теории упругой устойчивости. М. : Физматгиз, 1961. 339 с.
10. Папкович П.Ф. Труды по строительной механике корабля. Т. 4. Устойчивость стержней, перекрытий и пластин. Л. : Судпромгиз, 1963. 551 с.
11. Тимошенко С.П. Устойчивость стержней, пластин и оболочек. М. : Наука, 1971. 807 с.
12. Kollar L., Dulacska E. Bucking of shells for engineers. Budapest : Akademiai Kiado, 1984. 303 p.
13. Petersen C. Statik und Stabilitat der Baukonstruktionen. Braunschweig ; Wiesbaden : Vieweg, 1982. 960 p.
14. Морозов Н.Ф., Товстик П.Е. Динамика стержня при кратковременном продольном ударе // Вестник Санкт-Петербургского университета. Математика. Механика. Астрономия. 2013. № 3. С. 131–141.
15. Морозов Н.Ф., Товстик П.Е. Динамика стержня при продольном ударе // Вестник Санкт-Петербургского университета. Математика. Механика. Астрономия. 2009. № 2. С. 105–111.
16. Беляев А.К., Ильин Д.Н., Морозов Н.Ф. Динамический подход к задаче Ишлинского-Лаврентьева // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. 2013. № 5. С. 28–33.
17. Морозов Н.Ф., Товстик П.Е. Поперечные колебания стержня, вызванные кратковременным продольным ударом // Доклады академии наук. 2013. Т. 452. № 1. С. 37. DOI: 10.7868/S0869565213260095
18. Беляев А.К., Морозов Н.Ф., Товстик П.Е. О статической и динамической неустойчивости тонких стержней // Механика деформируемого твердого тела : тр. 7-й Всерос. конф. Ростов н/Д : Изд-во ЮФУ, 2013. С. 80–84
19. Морозов Н.Ф., Товстик П.Е., Товстик Т.П. Статика и динамика стержня при продольном нагружении // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математическое моделирование и программирование. 2014. Т. 7. № 1. С. 76–89. DOI: 10.14529/mmp140107
20. Морозов Н.Ф., Товстик П.Е., Товстик Т.П. Еще раз о задаче Ишлинского-Лаврентьева // Доклады академии наук. 2014. Т. 455. № 4. С. 412–415.
21. Морозов Н.Ф., Товстик П.Е. О динамической потере устойчивости стержня при продольной нагрузке, меньшей эйлеровой // Доклады Академии наук. 2014. Т. 453. № 3. С. 282. DOI: 10.7868/S0869565213330128
22. Морозов Н.Ф., Товстик П.Е., Товстик Т.П. Устойчивость стержня при длительном осевом сжатии // Проблемы прочности и пластичности. 2015. Т. 77. № 1. С. 40–48.
23. Лаврентьев М.А., Ишлинский А.Ю. Динамические формы потери устойчивости упругих систем // Доклады АН СССР. 1949. Т. 65. № 6. С. 776–782.

24. Малый В.И. Длинноволновое приближение в задачах о потере устойчивости при ударе // Известия АН СССР. МТТ. 1972. № 4. С. 138–144.

25. Малый В.И. Выпучивание стержня при продольном ударе. Малые прогибы // Известия АН СССР. МТТ. 1973. № 4. С. 181–186.

26. Малый В.И. Выпучивание стержня при продольном ударе. Большие прогибы // Известия АН СССР. МТТ. 1975. № 1. С. 52–61.

27. Малышев Б.М. Устойчивость стержня при ударном сжатии // Известия АН СССР. МТТ. 1966. № 4. С. 137–142.

28. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле. М. : Физматгиз, 1959.

29. Абрамов А.Б., Абрамов Б.М. Определение усилий при продольно-поперечном ударе // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1975. № 9. С. 58–64.

30. Тарасов В.Н. Об устойчивости подкрепленных арок // Вычислительная механика сплошных сред. 2019. Т. 12. № 2. С. 202–214. DOI: 10.7242/1999-6691/2019.12.2.18

31. Бриккель Д.М., Ерофеев В.И., Леонтьева А.В. Распространение изгибных волн в балке, материал которой накапливает повреждения в процессе эксплуатации // Вычислительная механика сплошных сред. 2020. Т. 13. № 1. С. 108–116. DOI: 10.7242/1999-6691/2020.13.1.9

32. Саркисян С.О., Хачатрян М.В. Построение модели изгиба микрополярных упругих тонких

стержней с круговой осью и ее реализация методом конечных элементов // Вычислительная механика сплошных сред. 2020. Т. 13. № 3. С. 256–268. DOI: 10.7242/1999-6691/2020.13.3.20

33. Чудновский В.Г. Методы расчета колебаний и устойчивости стержневых систем. Киев : Изд-во Акад. наук УССР, 1952. 416 с.

34. Битюрин А.А. Моделирование амплитуды поперечных колебаний однородного стержня при ударе о жесткую преграду с учетом собственного веса // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. 2018. № 2. С. 16–23. DOI: 10.15593/preim.mech/2018.2.02

35. Битюрин А.А. Моделирование максимального прогиба ступенчатого стержня, имеющего начальную кривизну, при ударе о жесткую преграду // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. 2019. № 5. С. 131–141. DOI: 10.1134/S0572329919050064

36. Битюрин А.А. Математическое моделирование амплитуды поперечных колебаний однородных стержней при продольном ударе // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. 2021. № 2. С. 98–109. DOI: 10.31857/S0572329921020045

37. Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. Справочник по сопротивлению материалов. Киев : Наукова думка, 1988. 736 с.

Поступила в редакцию 28 января 2022 г.

Принята в доработанном виде 2 марта 2022 г.

Одобрена для публикации 10 марта 2022 г.

ОБ АВТОРЕ: **Анатолий Александрович Битюрин** — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры промышленного и гражданского строительства; **Ульяновский государственный технический университет (УлГТУ)**; 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, д. 32; SPIN-код: 1975-6911, Scopus: 541237, ResearcherID: AFO 2909-2022, ORCID: 0000-0002-9984-0004; sntk_2015@mail.ru.

REFERENCES

1. Filippov A.P. *Oscillations of deformable systems*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1970; 734. (rus.).
2. Rakhmatulin Kh.A., Dem'yanov Yu.A. *Strength under intense short-term loads*. Moscow, Fizmatgiz, 1961; 399. (rus.).
3. Novatsky V. *Dynamics of structures* / translation from the Polish cand. tech. Sciences Assoc. L.V. Yanushovich. Moscow, Gosstroyizdat Publ., 1963; 376. (rus.).
4. Bezukhov N.I., Luzhin O.V., Kolkunov N.V. *Stability and dynamics of structures in examples and problems*. Moscow, Publishing house lit. on construction, 1969; 424. (rus.).
5. Panovko Ya.G., Gubanova I.I. *Stability and vibrations of elastic systems. Modern concepts, paradoxes and errors*. Moscow, Nauka Publ., 1987; 352. (rus.).

6. Bolotin V.V. *Dynamic stability of elastic systems*. Moscow, Gostekhizdat Publ., 1956; 600. (rus.).
7. Snitko N.K. *Building dynamics*. Leningrad; Moscow, Gosstroyizdat Publ., 1960; 356. (rus.).
8. Alfutov N.A. *Fundamentals of calculating the stability of elastic systems*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1991; 334. (rus.).
9. Bolotin V.V. *Non-conservative problems of the theory of elastic stability*. Moscow, Fizmatgiz Publ., 1961; 339. (rus.).
10. Papkovich P.F. *Proceedings on the structural mechanics of the ship. Vol. 4. Stability of rods, ceilings and plates*. Leningrad, Sudpromgiz Publ., 1963; 551. (rus.).
11. Timoshenko S.P. *Stability of rods, plates and shells*. Moscow, Nauka Publ., 1971; 807. (rus.).

12. Kollar L., Dulacska E. *Buckling of shells for engineers*. Budapest, Akademiai Kiado Publ., 1984; 303.
13. Petersen C. *Statik und Stabilitat der Baukonstruktionen*. Braunschweig; Wiesbaden, Vieweg, 1982; 960.
14. Morozov N.F., Tovstik P.E. The rod dynamics under short longitudinal impact. *Bulletin of St. Petersburg University. Maths. Mechanics. Astronomy*. 2013; 3:131-141. (rus.).
15. Morozov N.F., Tovstik P.E. The rod dynamics under longitudinal impact. *Bulletin of St. Petersburg University. Maths. Mechanics. Astronomy*. 2009; 2:105-111. (rus.).
16. Belyaev A.K., Il'in D.N., Morozov N.F. Dynamic approach to the Ishlinsky-Lavrent'ev problem. *Mechanics of Solids*. 2013; 5:28-33. (rus.).
17. Morozov N.F., Tovstik P.E. Transverse oscillations of a rod caused by a short-term longitudinal impact. *Reports of the Academy of Sciences*. 2013; 452(1):37. DOI: 10.7868/S0869565213260095 (rus.).
18. Belyaev A.K. On the static and dynamic instability of thin rods. *Mechanics of a Deformable Solid Body: Proceedings of the 7th All-Russian Conference*. 2013; 80-84. (rus.).
19. Morozov N.F., Tovstik P.Ye., Tovstik T.P. Static and dynamics of a rod at the longitudinal loading. *Bulletin of the South Ural State University. Series "Mathematical Modelling, Programming & Computer Software"*. 2014; 7(1):76-89. DOI: 10.14529/mmp140107 (rus.).
20. Morozov N.F., Tovstik P.E., Tovstik T.P. Once again about the Ishlinsky-Lavrentiev problem. *Reports of the Academy of Sciences*. 2014; 455(4):412-415. (rus.).
21. Morozov N.F., Tovstik P.E. On the dynamic buckling of a rod under a longitudinal load less than the Euler one. *Reports of the Academy of Sciences*. 2014; 453(3):282. DOI: 10.7868/S0869565213330128 (rus.).
22. Morozov N.F., Tovstik P.E., Tovstik T.P. Stability of a rod under the long-term axial compression. *Problems of Strength and Plasticity*. 2015; 77(1):40-48. (rus.).
23. Lavrentiev M.A., Ishlinsky A.Yu. Dynamic forms of buckling of elastic systems. *Reports of the Academy of Sciences of the USSR*. 1949; 64(6):776-782. (rus.).
24. Maly V.I. Long-wavelength approximation in problems of stability loss upon impact. *Izvestiya AN SSSR. MTT*. 1972; 4:138-144. (rus.).
25. Maly V.I. Buckling of a rod during a longitudinal impact. Small deflections. *Izvestiya AN SSSR. MTT*. 1973; 4:181-186. (rus.).
26. Maly V.I. Buckling of a rod during a longitudinal impact. Large deflections. *Izvestiya AN SSSR. MTT*. 1975; 1:52-61. (rus.).
27. Malyshev B.M. Stability of a rod under shock compression. *Izvestiya AN SSSR. MTT*. 1966; 4:137-142. (rus.).
28. Timoshenko S.P. *Fluctuations in engineering*. Moscow, Fizmatgiz Publ., 1959. (rus.).
29. Abramov A.B., Abramov B.M. Determination of efforts during longitudinal – transverse impact. *Izvestiya vuzov. Construction and Architecture*. 1975; 9:58-64. (rus.).
30. Tarasov V.N. On the stability of reinforced arches. *Computational Continuum Mechanics*. 2019; 12(2):202-214. DOI: 10.7242/1999-6691/2019.12.2.18 (rus.).
31. Brikkel D.M., Erofeev V.I., Leonteva A.V. The propagation of bending waves in a beam, the material of which accumulates damage during its operation. *Computational Continuum Mechanics*. 2020; 13(1):108-116. DOI: 10.7242/1999-6691/2020.13.1.9 (rus.).
32. Sargsyan S.O., Khachatryan M.V. Building a bending model for micropolar elastic thin rods with a circular axis and its implementation by the finite element method. *Computational Continuum Mechanics*. 2020; 13(3):256-268. DOI: 10.7242/1999-6691/2020.13.3.20 (rus.).
33. Chudnovsky V.G. *Methods for calculating vibrations and stability of rod systems*. Kyiv, Publishing House of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, 1952; 416. (rus.).
34. Biturin A.A. Simulation of the amplitude of transverse vibrations of a homogeneous rod upon impact against a rigid obstacle taking into account its own weight. *PNRPU Mechanics Bulletin*. 2018; 2:16-23. DOI: 10.15593/perm.mech/2018.2.02 (rus.).
35. Biturin A.A. Modeling of the maximum deflection of a stepped rod having an initial curvature upon impact against a rigid barrier. *Mechanics of Solids*. 2019; 5:131-141. DOI: 10.1134/S0572329919050064 (rus.).
36. Biturin A.A. Mathematical modeling of the amplitude of transverse vibrations of homogeneous rods under longitudinal impact. *Mechanics of Solids*. 2021; 2:98-109. DOI: 10.31857/S0572329921020045 (rus.).
37. Pisarenko G.S., Yakovlev A.P., Matveev V.V. *Handbook of Strength of Materials*. Kyiv, Naukova Dumka Publ., 1988; 736. (rus.).

Received January 28, 2022.

Adopted in revised form on March 2, 2022.

Approved for publication on March 10, 2022.

BIONOTES: Anatoliy A. Biturin — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Industrial and Civil Engineering; **Ulyanovsk State Technical University (UISTU)**; 32 Severniy Venets st., Ulyanovsk, 432027, Russian Federation; SPIN-code: 1975-6911, Scopus: 541237, ResearcherID: AFO 2909-2022, ORCID: 0000-0002-9984-0004; snk_2015@mail.ru.

Получение щелочного связующего из кремнеземистых добавок по упрощенной технологии

Мадина Шахидовна Саламанова^{1,2}

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

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Мировой опыт промышленного внедрения и уникальность свойств строительных щелочных композитов доказывают перспективность и актуальность развития бесклнкерной технологии. Разработка рецептур вяжущих связок щелочной активации на основе тонкодисперсных порошков алюмосиликатной природы позволит получать новые эффективные и качественные продукты. Но в предлагаемых новых строительных композитах самым дорогим компонентом можно считать щелочной раствор в виде натриевого жидкого стекла, для широкомасштабного внедрения этой технологии желательно найти альтернативный вариант этому затворителю.

Материалы и методы. Приводится ускоренный метод приготовления щелочно-силикатного натриевого связующего из 40%-го раствора едкого натра плотностью 1430 кг/м³ и ультрадисперсных порошков с высоким содержанием кремнезема из кварцевых стекольных песков и вулканического туфа. Связующее исследовали по специальной методике для определения концентрации SiO₂, вступившего в реакцию с NaOH, и силикатного модуля SiO₂/Na₂O. Синтезированные щелочные растворы в виде фильтрата и суспензии исследовали методами растровой электронной микроскопии.

Результаты. Полученные результаты свидетельствуют об эффективности мокрого способа приготовления щелочно-силикатного натриевого связующего по смоделированным композициям, ультрадисперсные микрочастицы, находящиеся в суспензии, довольно активные и способны перестраиваться, в результате чего формируются гидратные соединения нефелина, гидроалюмосиликатные метастабильные фазы переменного состава. Аморфная субстанция кремнезема, содержащаяся в достаточном количестве в вяжущей системе и переходящая в раствор в процессе выщелачивания, также способна к синтезу новообразований, соответствующих натриевому гидросиликату состава Na₂[Si₄O₁₀]-4H₂O.

Выводы. Перспективность и доступность некондиционных мелких стекольных кварцевых песков не вызывает сомнений, предлагаемый мокрый способ изготовления менее энерго- и ресурсозатратного жидкостекольного связующего позволит расширить бесклнкерную технологию вяжущих щелочной активации, тем самым снизится нагрузка на экологическую обстановку и появится альтернативный вариант дорогому и энергозатратному портландцементу.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: бесклнкерные вяжущие, щелочной раствор, вулканический пепел, кварцевые пески, едкий натр, жидкое стекло, активатор, метасиликат натрия

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Саламанова М.Ш. Получение щелочного связующего из кремнеземистых добавок по упрощенной технологии // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 3. С. 341–351. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.3.341-351

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

Using a simplified technology to make an alkaline binder from silica additives

Madina Sh. Salamanova^{1,2}

¹ Grozny State Oil Technical University named after Academician M.D. Millionshchikov;
Grozny, Russian Federation;

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

ABSTRACT

Introduction. The global expertise in the industry-scale application of alkaline composites in construction and their unique properties have proven strong prospects for and the relevance of a clinker-free technology and its development. The elaboration of alkaline-activated formulas for binders, containing fine powders of the aluminosilicate origin, allows making new efficient high quality products. New composite construction materials contain alkaline solutions of sodium silicate, although the large-scale application of this technology will require an alternative sealant.

Materials and methods. The paper presents a method for the accelerated preparation of an alkaline-silicate sodium binder composed of a 40 % solution of caustic soda, having density of 1,430 kg/m³ and ultrafine powders featuring high silica content extracted from quartz glass sands and volcanic tuff. The resulting liquid-glass binder was studied using a special method to determine the concentration of SiO₂ that reacted with NaOH and the SiO₂/Na₂O silicate module. Scanning electron microscopy is employed to study the synthesized alkaline solutions, or the filtrate and the suspension.

Results. The results have proven the effectiveness of the “wet” method for preparing the alkaline-silicate sodium binder using the simulated compositions. Ultrafine microparticles are quite active and capable of rearranging in the suspension. As a result, hydrated nepheline compounds and hydro-alumino-silicate metastable phases of variable compositions are generated. The binder system has a sufficient amount of structureless silica that converts into a solution in the process of leaching; it is also capable of synthesizing new compositions corresponding to sodium hydrosilicate Na₂[Si₄O₁₀]·4H₂O.

Conclusions. The prospects for and availability of fine off-grade glass quartz sands are beyond doubt; the proposed “wet” method of making less energy- and resource-intensive liquid glass binders will expand the clicker-free technology of alkali-activated binders, thereby reducing the environmental load and promoting an alternative to expensive and energy-intensive Portland cement.

KEYWORDS: clinker-free binders, alkaline solution, volcanic ash, quartz sands, caustic soda, liquid glass, activator, sodium metasilicate

FOR CITATION: Salamanova M.Sh. Using a simplified technology to make an alkaline binder from silica additives. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2022; 17(3):341-351. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.3.341-351 (rus.).

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

ВВЕДЕНИЕ

В условиях дефицита разработанного природного ресурса, постоянного удорожания энергоносителей, усиления антропогенного воздействия на экологическую среду особое внимание уделяется разработке менее ресурсо- и энергоемких технологий получения строительных композитов [1–5]. Бесклинкерные вяжущие щелочной активации (БВЩА) с использованием некондиционного и вторичного сырьевого ресурса с прочностью до 60 МПа пригодны для производства бетонных композитов. Но в предлагаемых новых строительных композитах самым дорогим компонентом можно считать щелочной раствор в виде натриевого жидкого стекла, и для широкомасштабного внедрения БВЩА желательно найти альтернативный вариант этому затворителю [6, 7].

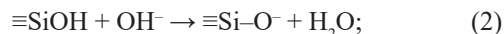
Для проведения исследований в данном направлении следует подробнее проанализировать всю информацию, связанную с технологией жидкого стекла в общем. Товарное жидкое стекло является водным раствором силикатов щелочных металлов, и в зависимости от катиона щелочного металла бывает натриевым, калиевым, литиевым и аммонийным. В уникальности свойств этого материала невозможно сомневаться, и полученные результаты об этом свидетельствуют.

Безводная система Na₂O·SiO₂ с учетом температуры плавления имеет три бинарных соединения: 2Na₂O·SiO₂ ортосиликат; Na₂O·SiO₂ метасиликат и Na₂O·2SiO₂ дисиликат натрия. Фазовые переходы безводной системы Na₂O–SiO₂ в зависимости от температуры и доли кремнезема можно представить описанием: плавление ортосиликата натрия 2Na₂O·SiO₂ происходит инконгруэнтно при температуре 1118 °C; плавление следующих двух соединений протекает конгруэнтно при температурах 1086 и 874 °C соответственно. Для системы Na₂O·SiO₂ свойственны три точки эвтектики при 1022, 846 и 793 °C [8, 9].

В водной системе гидросиликатов натрия Na₂O·SiO₂·H₂O присутствует большое количество различных кристаллогидратов, являющихся модификациями ортокремниевой кислоты Si(OH)₄, способных в результате по реакции поликонденсации образовывать поликремниевые кислоты:



Химические реакции взаимодействия в системе Na₂O·SiO₂·H₂O протекают по механизму кислотно-основного типа:



Протолитическая реакция (уравнение (2)) протекает в прямом направлении при взаимодействии с основанием, в результате образуется кремнезем в ионизированной форме, характерна для полисиликатов и коллоидных систем; а в обратном направлении реакция протекает (уравнение (3)) за счет гидролиза кремнезема в ионизированной форме, что приводит к увеличению pH среды жидкого стекла [10, 11], процесс полимеризации – деполимеризации приводит к диспергации кремнезема. Соединения, образуемые при обратной реакции, имеют характерную сферическую форму структуры и при кристаллизации формируют в растворе коллоидные частицы отрицательного заряда, не взаимодействующие друг с другом без определенных условий коагуляции [12–14].

Производство жидкого стекла распространено как в нашей стране, так и за рубежом, существуют мокрый и сухой методы его изготовления. В России широко применяется сухой способ получения жидкого стекла, заключающийся в высокотемпературном плавлении силикат-глыбы, полученной из чистых кварцевых песков с сульфатом или карбонатом натрия, после охлаждения промышленный продукт растворяют в автоклавах насыщенным водяным паром под давлением до 0,6 МПа, в итоге

получается водный раствор натриевого жидкого стекла, содержащего до 50–55 % воды [12, 15–21].

Сравнивая технологии производства таких вяжущих материалов, как портландцемент и жидкое стекло, по сухому способу, выявлено понижение расхода тепла в 2,1 раза, выбросы углекислоты в атмосферу — до 153,9 кг на одну тонну силикат-глыбы, а с учетом ≈ 50 % воды доля CO_2 снизится до 70–76 кг [22, 23].

Мокрый способ производства жидкого стекла заключается в гидротермальном растворении высокодисперсного кремнезема в растворе высококонцентрированной щелочи натрия. При сопоставлении производств жидкостекольного связующего и портландцементного клинкера отмечается значительный экономический эффект при мокром способе приготовления жидкого стекла. Установлено, что при получении 1 т натриевого жидкостекольного раствора расходуется 213 МДж теплоты (56 кВт·ч электроэнергии), что примерно в 26 раз меньше энергозатрат при обжиге тонны цементного клинкера и в 14 раз меньше при изготовлении сухим методом жидкого стекла.

Следовательно, разработка менее затратного натриевого жидкого стекла решает проблемы вредных выбросов углекислоты в атмосферу и окружающую среду обитания, а использование доступного некондиционного ресурса позволит расширить сырьевую базу для получения щелочного раствора и развивать бесклинкерную технологию [24].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Ускоренная технология получения водного раствора жидкостекольного связующего с использованием кремнеземистого сырья требует выполнения следующих технологических операций. Ключевую роль в связующем играют катионы щелочных металлов, вступающие во взаимодействие с силикатами и алюмосиликатами минеральных порошков, с дальнейшим формированием силикатов натрия различной основности. Поэтому на первом этапе важно приготовить щелочной раствор едкого натра 40%-ной концентрации с плотностью 1430 кг/м³ и ультрадисперсные минеральные порошки из кремнеземсодержащих минералов.

В качестве высоко кремнеземистых добавок использовали горные породы осадочного и магматического происхождения — стекольные тонкие кварцевые пески и вулканический туф. Добавка вулканического туфа после предварительного измельчения в щековой дробилке и кварцевые пески измельчались на протя-жении 120 минут в лабораторной трубной шаровой вибромельнице ВМ-20 с объемом по загрузке до 20 кг. Удельная поверхность полученных порошков определялась на приборе ПСХ-12 и составила: стекольных песков $S_{\text{уд}} = 1166 \text{ м}^2/\text{г}$, вулканического туфа $S_{\text{уд}} = 1325 \text{ м}^2/\text{г}$. Полученные таким образом порошки просеива-

лись через сито с размерами ячеек в свету 0,315 мм, далее смешивались с 40%-ным раствором гидроксида натрия и воды в заданных пропорциях, после чего помещались в герметично закрытый сосуд для дальнейшего выдерживания и термостатирования в течение 2,5–3 ч в сушильном шкафу при температуре 95 °С.

На следующем этапе важно отделить нерастворимый густой остаток от полученного раствора, поэтому выдержанное и насыщенное жидкостекольное связующее в виде суспензии подвергали центрифугированию в течение 5–7 мин в лабораторной центрифуге типа МРВ-20 с числом оборотов до 5000 в мин. В результате чего образуется густой осадок, суспензия сметанообразной консистенции и чистый фильтрат.

Щелочной раствор жидкого стекла исследовали для определения концентрации SiO_2 , вступившего в реакцию с NaOH , и силикатного модуля $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ по специальной методике [4]:

1. С помощью пипетки брали 1–2 мл полученного жидкого стекла и помещали в коническую колбу.
2. Добавляли 30 мл воды и перемешивали стеклянной палочкой.
3. Добавляли несколько капель универсального индикатора метилоранжевого, после чего раствор окрашивался в желтый цвет.
4. Титровали полученную водную вытяжку 0,1 н раствором HCl до тех пор, пока раствор не окрасится в розовый цвет.
5. По результатам титрования рассчитывали концентрацию едкого натра в щелочном растворе по уравнению:

$$N_1 = \frac{V_1 N_0}{V_0}, \quad (4)$$

где N_1 — концентрация NaOH , моль-экв/л; V_1 — объем HCl , израсходованной на титрование, мл; N_0 — концентрация HCl ; V_0 — объем щелочного раствора.

6. Затем в оттитрованный раствор добавляли несколько граммов фторида натрия NaF и тщательно перемешивали стеклянной палочкой, раствор окрашивался опять в желтый цвет:



7. Титровали полученный раствор 0,1 н раствором соляной кислоты HCl . Концентрацию NaOH вычисляли по формуле:

$$N_2 = \frac{V_2 N_0}{V_0}, \quad (6)$$

где N_2 — концентрация NaOH после повторного титрования, моль-экв/л; V_2 — объем HCl , израсходованной на повторное титрование, мл; N_0 — концентрация HCl ; V_0 — объем щелочного раствора.

Концентрация SiO_2 в щелочном растворе, согласно уравнению (6), определяется по формуле:

$$N_3 = \frac{N_2}{4}, \quad (7)$$

где N_3 — концентрация SiO_2 в щелочном растворе, моль-экв/л; N_2 — концентрация NaOH после повторного титрования, моль-экв/л.

Силикатный модуль щелочного раствора равен отношению концентраций оксидов кремния N_3 и натрия, при этом концентрация оксида натрия эквивалентна концентрации едкого натра N_1 . Существует стехиометрическое соотношение $2\text{NaOH} = \text{Na}_2\text{O}$, согласно этому уравнению:

$$N_{\text{Na}_2\text{O}} = \frac{N_1}{2}, \quad (8)$$

где $N_{\text{Na}_2\text{O}}$ — концентрация Na_2O , моль-экв/л; N_1 — концентрация NaOH , моль-экв/л.

Следовательно, силикатный модуль определяют по формуле:

$$n = \frac{N_3}{N_{\text{Na}_2\text{O}}} = \frac{2N_2}{4N_1} = 0,5 \frac{N_2}{N_1}. \quad (9)$$

Решением уравнения получаем силикатный модуль:

$$n = 0,5 \frac{V_2}{V_1}. \quad (10)$$

Концентрацию SiO_2 в щелочном растворе в г/л рассчитывают по формуле:

$$C_{\text{SiO}_2} = N_3 \cdot M_{\text{SiO}_2}, \quad (11)$$

где M_{SiO_2} — молекулярная масса SiO_2 (60).

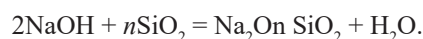
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Предлагаемый способ получения жидкого стекла основан на химическом взаимодействии высокодисперсных порошков из стекольных кварцевых песков и вулканического туфа с гидроксидом натрия при высокой температуре до 95 °С, в результате чего образуются силикаты натрия по реакции:

Табл. 1. Результаты смешанной части жидкого стекла

Table 1. Results of the mixed portion of water glass

№ состава Composition No.	Минеральная добавка Mineral additive	Концентрация SiO_2 , г/л/модуль в зависимости от времени термообработки, ч SiO_2 concentration, g/l/module depending on the thermal treatment time			$\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, мас. % $\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, mass %
		2	8	20	
1	Кварцевый песок Quartz sans	121/1,10	116/1,07	121/1,10	48,0
2	Вулканический туф Volcanic tuff	87/0,84	88/ 0,85	88/0,87	35,2



Конечно, интенсивность и конечный продукт этой реакции будут определяться многими факторами: количественным содержанием аморфного кремнезема в исследуемых добавках, продолжительностью теплового воздействия, соотношением компонентов и т.д.

Для приготовления щелочно-силикатного натриевого связующего длительными экспериментальными исследованиями были смоделированы композиции щелочного раствора следующих составов, мас. %:

Состав 1:

- 40%-ный раствор NaOH — 26,4;
- порошок из стекольных песков $S_{\text{уд}}$ 1166 м²/г — 24,2;
- вода — 49,4.

Состав 2:

- 40%-ный раствор NaOH — 26,4;
- порошок вулканического туфа $S_{\text{уд}}$ 1325 м²/г — 24,2;
- вода — 49,4.

Варьируя продолжительностью теплового воздействия, изучали влияние этого фактора на силикатный модуль и концентрацию кремнезема, количество аморфного $\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в щелочном растворе. Определение аморфного кремнезема проводилось в следующей последовательности. В подготовленные пробы щелочно-силикатного натриевого связующего погружали электроды из платиновых (Pt) пластин с регулируемой силой тока. В процессе подачи электрического тока кристаллы аморфного кремнезема осаждаются на платиновых пластинах. Собранные таким образом количество аморфной субстанции $\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ исследовалось с помощью дисперсионно-энергетического спектрометра (ДЭС) растрового электронного микроскопа (РЭМ) Quanta 3D 200i с интегрированной системой микроанализа Genesis Apex 2 EDS от EDAX. Обработка полученных спектров осуществлялась программным ресурсом EDAX TEAM. Пробы щелочно-силикатного натриевого связующего также изучали с помощью РЭМ, полученный элементный состав (в пересчете на оксиды) позволил рассчитать результаты, представленные в табл. 1.

Полученные результаты исследований показали, что по количеству аморфного кремнезема вулканический туф уступает кварцевым стекольным пескам на 35 %, силикатный модуль на 30 %. Следовательно, даже при высоком содержании кремнезема в обоих породах вулканический туф содержит меньше аморфных минералов. Концентрация SiO_2 и силикатный модуль в исследуемых растворах не зависят от продолжительности теплового воздействия. Если учитывать погрешность в методике определения этих показателей ($\pm 10\%$), можно полагать, что активный кремнезем вступает в реакцию с едким натром в течение первых двух часов выщелачивания с образованием щелочных силикатов. Добавки вулканического происхождения содержат в своем составе минералы алюмосиликатной природы, типа альбита, микроклина, мусковита, которые также, как и аморфный кремнезем, могут вступать в реакцию с катионами щелочных металлов с образованием гидроалюмосиликатов, подобных природному минералу цеолиту [12, 15].

Для подтверждения эффективности стекольных кварцевых песков были проведены наблюдения за жидкостекольными композициями 2,5–3 ч гидротермальной обработки, без отделения от них фильтрата, к тому же раствор в колбах находился в неподвижном состоянии. Визуальный осмотр полученных суспензий (рис. 1) продемонстрировал, что через сутки уровень осевшей суспензии в растворе на основе высокодисперсного кварцевого порошка был выше, чем в растворе с вулканическим туфом, объяснить этот факт можно тем, что кварц — довольно твердый минерал, при этом содержание

его велико, в первые сутки выдерживания реакция выщелачивания протекает медленнее.

На вторые сутки уровень осадка суспензии изменился, он уменьшился в том же растворе примерно в 4 раза, обусловлено это активизацией процесса диспергирования аморфного кремнезема в высококонцентрированном растворе едкого натра, содержание которого составляет 48 % из общего содержания устойчивой модификации кремнезема.

Для более глубокого изучения природы полученных щелочных растворов и определения химического состава проведены исследования проб щелочно-силикатного натриевого связующего с помощью РЭМ Quanta 3D 200 i как на основе кварцевых стекольных песков, так и на основе вулканического туфа, рассматривались фильтрат и нерастворимая суспензия.

Энергодисперсионный микроанализ, химический состав и микрофотографии жидкостекольного связующего на кварцевых песках в виде чистого фильтрата и нерастворимой суспензии представлены на рис. 2, 3 и в табл. 2.

Исследования химического анализа показали, что фильтрат и суспензия имеют отличный оксидный набор, фильтрат характеризуется более высоким содержанием щелочных оксидов, силикатный модуль ($n = \text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$) $n = 0,43$, суспензия насыщена кремнеземом $n = 2,6$, именно смесь этих растворов и позволит достичь нужный силикатный модуль.

На микрофотографиях различного увеличения жидкостекольного связующего на основе кварцевого песка (рис. 3): фильтрат (а), суспензия (б) зафиксиро-

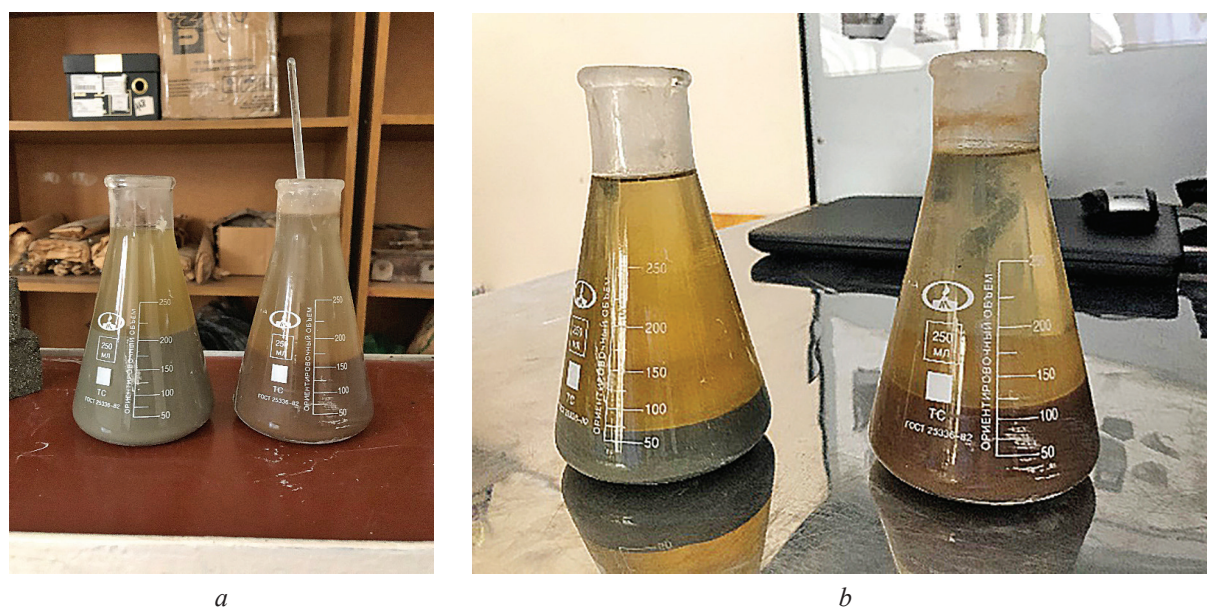
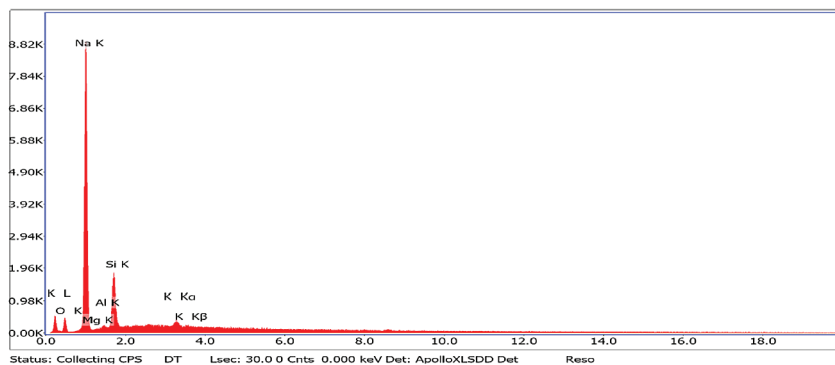
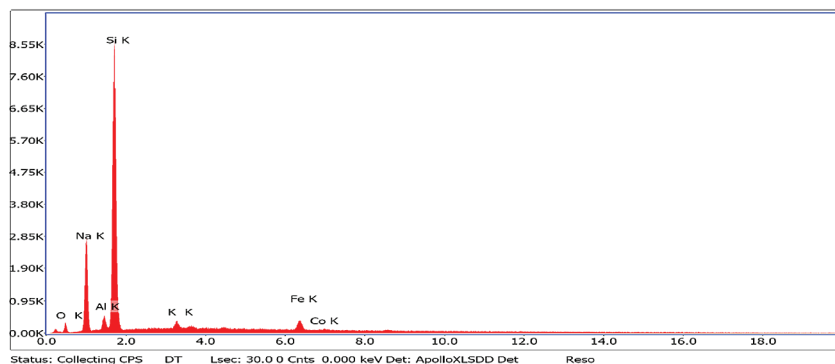


Рис. 1. Снимки щелочных растворов на основе кварцевого песка и вулканического туфа, через час (а) и через сутки (б); слева — колба с щелочным раствором на кварцевых песках; справа — с щелочным раствором на вулканическом туфе

Fig. 1. Photos of alkaline solutions, containing quartz sand and volcanic tuff, taken in an hour (a) and one day (b) later; on the left there is a flask containing the alkaline solution that has quartz sand; on the right there is a flask with the alkaline solution containing volcanic tuff



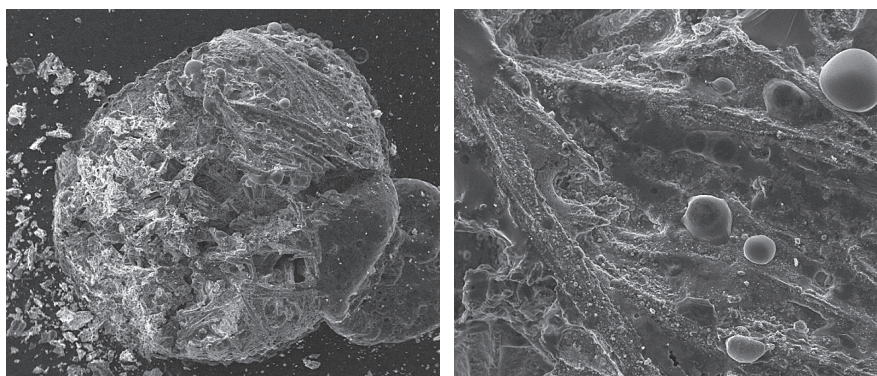
a



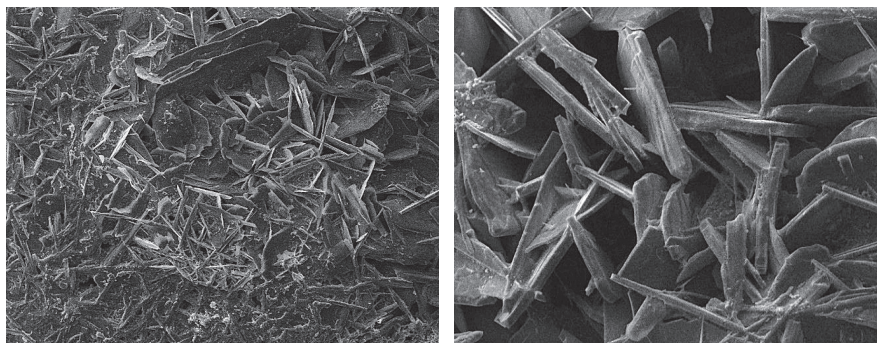
b

Рис. 2. Энергодисперсионный микроанализ щелочного раствора на основе кварцевых песков: *a* — фильтрат; *b* — суспензия

Fig. 2. Energy dispersive microanalysis of the alkaline solution having quartz sands: *a* — filtrate; *b* — suspension



a



b

Рис. 3. Микрофотографии жидкостеклянного связующего на основе кварцевого песка: фильтрат (*a*); суспензия (*b*)

Fig. 3. Micrographs of the liquid glass binder containing quartz sand: filtrate (*a*); suspension (*b*)

Табл. 2. Химический состав щелочного раствора на кварцевых песках, %**Table 2.** Chemical composition of the alkaline solution having quartz sands, %

Оксиды Oxides	Фильтрат Filtrate	Суспензия Suspension
Al ₂ O ₃	4,31	3,63
SiO ₂	39,58	42,14
K ₂ O	4,23	2,36
CaO	—	1,99
Na ₂ O	51,88	49,88

рованы скопления высокодисперсных бесформенных микрочастиц, местами пластинчатых кристаллических образований и игольчатых вкраплений, по результатам электронно-зондового анализа соответствующих натриевому гидросиликату состава $\text{Na}_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$.

Энергодисперсионный микроанализ, химический состав и микрофотографии жидкостекольного связующего на вулканическом туфе в виде чистого фильтрата и нерастворимой суспензии представлены на рис. 4, 5 и в табл. 3.

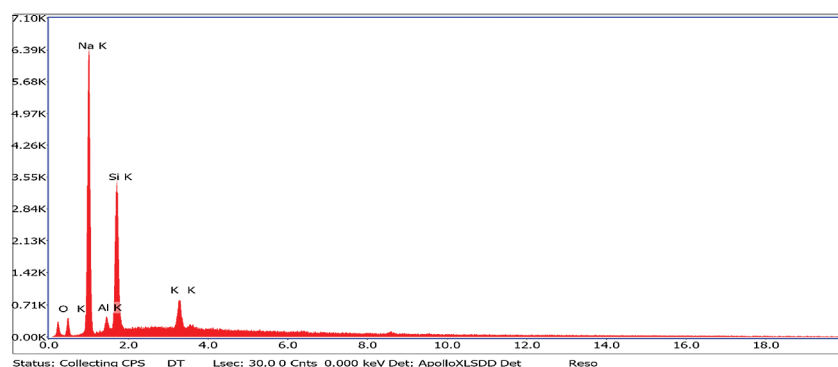
Изучение химического анализа щелочного раствора на вулканическом туфе показало, что фильтрат и суспензия имеют более схожий в сравнении с предыдущим анализом оксидный набор,

Табл. 3. Химический состав щелочного раствора на вулканическом туфе, %**Table 3.** Chemical composition of the alkaline solution containing volcanic tuff, %

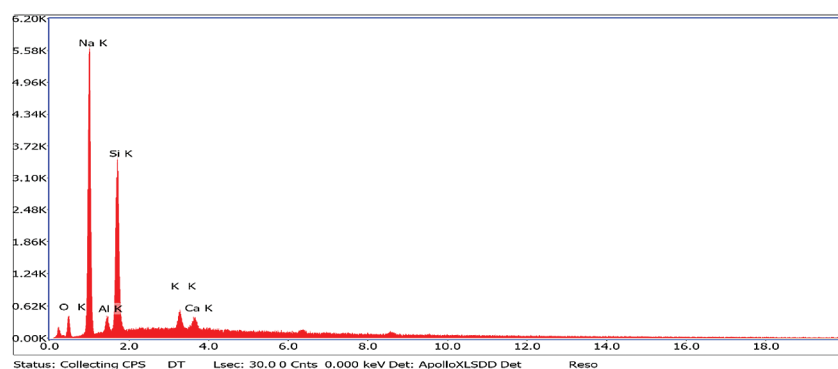
Оксиды Oxides	Фильтрат Filtrate	Суспензия Suspension
Al ₂ O ₃	4,31	3,63
SiO ₂	39,58	42,14
K ₂ O	4,23	2,36
CaO	—	1,99
Na ₂ O	51,88	49,88

фильтрат и суспензия характеризуются более равномерным кислотно-щелочным балансом, силикатный модуль фильтрата $n = 0,763$, суспензии $n = 0,84$. Дефицит аморфной составляющей в вулканической добавке ощущается в данном растворе, что непременно скажется на свойствах строительных композитов.

На микрофотографиях различного увеличения жидкостекольного связующего на основе вулканического туфа: фильтрат (а), суспензия (b) зафиксированы высокодисперсные кристаллические образования в виде скрученных волокон, переплетенных по всей структуре. Внешняя форма образований видоизменяется в зависимости от SiO_2/CaO /



a



b

Рис. 4. Энергодисперсионный микроанализ щелочного раствора на основе вулканического туфа: а — фильтрат; b — суспензия**Fig. 4.** Energy-dispersive microanalysis of the alkaline solution containing volcanic tuff: a — filtrate; b — suspension

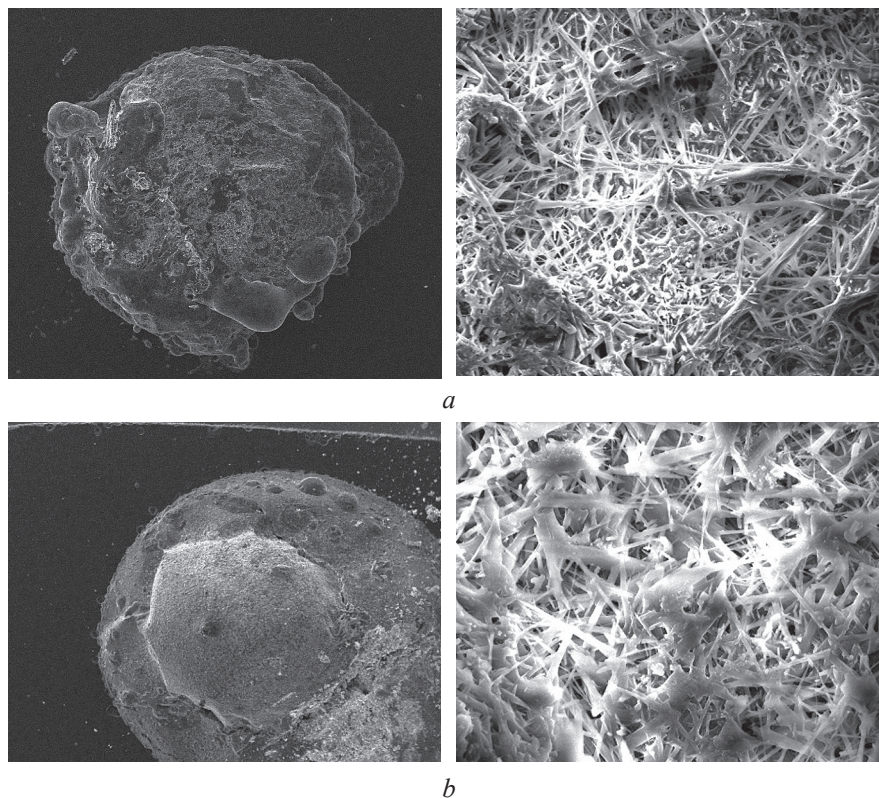


Рис. 5. Микрофотографии жидкостекольного связующего на основе вулканического туфа: фильтрат (а); суспензия (b)
Fig. 5. Micrographs of the liquid-glass binder containing volcanic tuff: filtrate (a); suspension (b)

Na_2O , игольчатая структура характерна для составов $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 0,59\text{SiO}_2 \cdot 0,012\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{aq}$, пластинчатая структура — для составов $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \times 1,02\text{SiO}_2 \cdot 0,03\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{aq}$, скручивание пластин в волокна — $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 1,805\text{SiO}_2 \cdot 0,378\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{aq}$, $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2,02\text{SiO}_2 \cdot 0,45\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{aq}$, и при переходе волокон в частицы неправильной формы — $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \times 2,46\text{SiO}_2 \cdot 0,54\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{aq}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Таким образом, предлагаемый ускоренный способ получения щелочно-силикатного натриевого связующего, основанный на химическом взаимодействии аморфной кремнеземистой составляющей ультрадисперсных порошков из стекольных кварцевых песков и вулканического туфа с катионами металлов гидроксида натрия при высокой температуре до 95°C , приводит к образованию силикатов натрия. Мокрый способ получения щелочно-силикатного натриевого связующего по смоделированным ком-

позициям эффективный, так как ультрадисперсные микрочастицы, находящиеся в суспензии, довольно активные и способны перестраиваться, в результате чего формируются гидратные соединения нефелина, гидроалюмосиликатные метастабильные фазы переменного состава. Аморфная субстанция кремнезема, содержащаяся в достаточном количестве в вяжущей системе и переходящая в гидрогелевый раствор в процессе выщелачивания, также способна к синтезу новообразований, за счет связывания свободной щелочи, что в дальнейшем приведет к повышению прочностных характеристик и долговечности строительных композитов щелочного затвердения.

В заключение следует отметить перспективность и доступность некондиционных мелких стекольных кварцевых песков. Предлагаемый способ позволит расширить бесклнкерную технологию вяжущих щелочной активации, тем самым снизится нагрузка на экологическую обстановку и появится альтернативный вариант дорогому и энергозатратному портландцементу.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. López F.J., Sugita S., Tagaya M., Kobayashi T. Metakaolin-based geopolymers for targeted adsorbents to heavy metal ion separation // Journal of Materials Science and Chemical Engineering. 2014. Vol. 02. Issue 07. Pp. 16–27. DOI: 10.4236/msce.2014.27002
2. Саламанова М.Ш., Муртазаев С-А.Ю., Нахаев М.Р. Возможные пути альтернативного ре-

шения проблем в цементной индустрии // Строительные материалы. 2020. № 1–2. С. 73–77. DOI: 10.31659/0585-430X-2020-778-1-2-73-77

3. *Chen L., Wang Z., Wang Y., Feng J.* Preparation and properties of alkali activated metakaolin-based geopolymer // *Materials*. 2016. Vol. 9. Issue 9. P. 767. DOI: 10.3390/ma9090767

4. *Муртазаев С.-А.Ю., Саламанова М.Ш., Сайдумов М.С., Исмаилова З.Х.* The influence of active surface centers on reactivity of mineral additives // *Современная наука и инновации*. 2017. № 2 (18). С. 146–153.

5. *Муртазаев С.-А.Ю., Саламанова М.Ш.* Перспективы использования термоактивированного сырья алюмосиликатной природы // *Приволжский научный журнал*. 2018. № 2 (46). С. 65–70.

6. *Salamanova M., Murtazaev S.-A., Alashanov A., Ismailova Z.* Features of production of fine concretes based on clinkerless binders of alkaline mixing // *Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences*. 2019. Pp. 385–388. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-22974-0_93

7. *Zhang Z., Provis J.L., Zou J., Reid A., Wang H.* Toward an indexing approach to evaluate fly ashes for geopolymer manufacture // *Cement and Concrete Research*. 2016. Vol. 85. Pp. 163–173. DOI: 10.1016/j.cemconres.2016.04.007

8. *Рахимова Н.Р.* Состояние и перспективные направления развития исследований и производства композиционных шлакощелочных вяжущих, растворов и бетонов // *Строительные материалы*. 2008. № 9. С. 77–80.

9. *Hardjito D., Wallah S., Sumajouw D., Rangan B.* On the development of fly ash-based geopolymer concrete // *ACI Materials Journal*. 2004. Vol. 101. Issue 6. Pp. 467–472.

10. *Davidovits J.* Geopolymer chemistry and applications. Saint-Quentin : Institute Geopolymer, 2008. 592 p.

11. *Корнеев В.И., Данилов В.В.* Растворимое и жидкое стекло. СПб. : Стройиздат, 1996. 216 с.

12. *Nuruddin F., Demie S., Memon F.A., Shafiq N.* Effect of superplasticizer and NaOH molarity on workability, compressive strength and microstructure properties of self-compacting geopolymer concrete // *World Academy of Science, Engineering and Technology*. 2011. Issue 75. Pp. 908–914.

13. *Alex T.C., Kalinkin A.M., Nath S.K., Gurevich B.I., Kalinkina E.V., Tyukavkina V.V. et al.* Utilization of zinc slag through geopolymerization: Influence of milling atmosphere // *International Journal of Mineral Processing*. 2013. Vol. 123. Pp. 102–107. DOI: 10.1016/j.minpro.2013.06.001

14. *Villa C., Pecina E.T., Torres R., Gomez L.* Geopolymer synthesis using alkaline activation of natural zeolite // *Construction and Building Materials*.

2010. Vol. 24. Issue 11. Pp. 2084–2090. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2010.04.052

15. *Рахимова Н.Р., Рахимов П.З.* Композиционные шлакощелочные вяжущие с минеральными добавками различного типа активности // *Вестник Волжского регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук*. 2013. № 16. С. 204–216.

16. *Salamanova M.Sh., Mintsaeve M.Sh., Murtazaev S.-A.Yu., Bisultanov R.G., Salamanova M.Sh.* Fine-grained concretes with clinker-free binders on an alkali gauging // *Proceedings of the International Symposium “Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research” dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019)*. 2019. DOI: 10.2991/isees-19.2019.98

17. *Bataev D.K.-S., Salamanova M.Sh., Murtazaev S.-A.Yu., Viskhanov S.S., Murtazaev S.-A.Yu.* Utilization of cement kiln dust in production of alkali-activated clinker-free binders // *Proceedings of the International Symposium “Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research” dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019)*. 2019. DOI: 10.2991/isees-19.2019.89

18. *Рахимова Н.Р., Рахимов П.З.* Механизм отверждения боратных солевых растворов шлакощелочными вяжущими // *Цемент и его применение*. 2016. № 3. С. 96–99.

19. *Dombrowski K., Buchwald A., Weil M.* The influence of calcium content on the structure and thermal performance of fly ash based geopolymers // *Journal of Materials Science*. 2007. Vol. 42. Issue 9. Pp. 3033–3043. DOI: 10.1007/s10853-006-0532-7

20. *Pawlasova S., Skvara F.* High-temperature properties of geopolymer materials // *Alkali Activated Materials*. 2008. Pp. 523–525.

21. *Khater H.M., Abd El Gawwad H.A.* Effect of firing temperatures on alkali activated Geopolymer mortar doped with MWCNT // *Advances in Nano Research*. 2015. Vol. 3. Issue 4. Pp. 225–242. DOI: 10.12989/anr.2015.3.4.225

22. *Khater H.M., El Nagar A.M., Ezzat M.* Optimization of alkali activated grog/ceramic wastes geopolymer bricks // *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. 2016. Vol. 5. Issue 1. Pp. 37–46. DOI: 10.15680/IJIRSET.2015.0501005

23. *Nagajothi S., Elavenil S.* Strength assessment of geopolymer concrete using M-sand // *International Journal of Chemical Sciences*. 2016. Vol. 1. Issue 14. Pp. 115–126.

24. *Нахаев М.Р., Саламанова М.Ш., Исмаилова З.Х.* Закономерности протекания процессов формирования структуры и прочности бесклнкерного вяжущего щелочной активации // *Строительные материалы и изделия*. 2020. Т. 3. № 1. С. 21–29.

Поступила в редакцию 4 февраля 2022 г.

Принята в доработанном виде 2 марта 2022 г.

Одобрена для публикации 10 марта 2022 г.

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

REFERENCES

1. López F.J., Sugita S., Tagaya M., Kobayashi T. Metakaolin-based geopolymers for targeted adsorbents to heavy metal ion separation. *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*. 2014; 02(07):16-27. DOI: 10.4236/msce.2014.27002
2. Salamanova M.Sh., Murtazaev S.-A.Yu., Nakhaev M.R. Possible alternative solutions to problems in the cement industry. *Construction Materials*. 2020; 1-2:73-77. DOI: 10.31659/0585-430X-2020-778-1-2-73-77 (rus.).
3. Chen L., Wang Z., Wang Y., Feng J. Preparation and properties of alkali activated metakaolin-based geopolymer. *Materials*. 2016; 9(9):767. DOI: 10.3390/ma9090767
4. Murtazaev S.-A.Yu., Salamanova M.Sh., Saidumov M.S., Ismailova Z.Kh. Influence of active centers of the surface on the reactivity of mineral additives. *Modern Science and Innovations*. 2017; 2(18):168-175. (rus.).
5. Murtazaev S.-A.Y., Salamanova M.S. Prospects of the use of thermoactivated raw material of aluminosilicate nature. *Privolzhsky Scientific Journal*. 2018; 2(46):65-70. (rus.).
6. Salamanova M., Murtazaev S.-A., Alashanov A., Ismailova Z. Features of production of fine concretes based on clinkerless binders of alkaline mixing. *Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences*. 2019; 385-388. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-22974-0_93
7. Zhang Z., Provis J.L., Zou J., Reid A., Wang H. Toward an indexing approach to evaluate fly ashes for geopolymer manufacture. *Cement and Concrete Research*. 2016; 85:163-173. DOI: 10.1016/j.cemconres.2016.04.007
8. Rakhimova H.P. State and perspective directions of development of research and production of composite slag-alkaline binders, mortars and concretes. *Construction Materials*. 2008; 9:77-80. (rus.).
9. Hardjito D., Wallah S., Sumajouw D., Rangan B. On the development of fly ash-based geopolymer concrete. *ACI Materials Journal*. 2004; 101(6):467-472.
10. Davidovits J. *Geopolymer Chemistry and Applications*. Saint-Quentin, Institute Geopolymer, 2008; 592.
11. Korneev V.I., Danilov V.V. *Soluble and liquid glass*. St. Petersburg, Stroyizdat, 1996; 216. (rus.).
12. Nuruddin F., Demie S., Memon F.A., Shafiq N. Effect of superplasticizer and NaOH molarity on workability, compressive strength and microstructure properties of self-compacting geopolymer concrete. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. 2011; 75:908-914.
13. Alex T.C., Kalinkin A.M., Nath S.K., Gurevich B.I., Kalinkina E.V., Tyukavkina V.V. et al Utilization of zinc slag through geopolymerization: Influence of milling atmosphere. *International Journal of Mineral Processing*. 2013; 123:102-107. DOI: 10.1016/j.minpro.2013.06.001
14. Villa C., Pecina E.T., Torres R., Gomez L. Geopolymer synthesis using alkaline activation of natural zeolite. *Construction and Building Materials*. 2010; 24(11):2084-2090. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2010.04.052
15. Rakhimova N.R., Rakhimov R.Z. Composite slag-alkali binders with mineral additives of various types of activity. *Bulletin of the Volga Regional Branch of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences*. 2013; 16:204-216. (rus.).
16. Salamanova M.Sh., Mintshev M.Sh., Murtazaev S.-A.Yu., Bisultanov R.G., Salamanova M.Sh. Fine-grained concretes with clinker-free binders on an alkali gauging. *Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019)*. 2019. DOI: 10.2991/isees-19.2019.98
17. Bataev D.K.-S., Salamanova M.Sh., Murtazaev S.-A.Yu., Viskhanov S.S., Murtazaev S.-A.Yu. Utilization of cement kiln dust in production of alkali-activated clinker-free binders. *Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019)*. 2019. DOI: 10.2991/isees-19.2019.89
18. Rakhimova N.R., Rakhimov R.Z. Mechanism of solidification of borate salt solutions with slag-alka-

line binders. *Cement and its Application*. 2016; 3:96-99. (rus.).

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

20. Pawlasova S., Skvara F. High-temperature properties of geopolymer materials. *Akali Activated Materials*. 2008; 523-525.

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

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

23. Nagajothi S., Elavenil S. Strength assessment of geopolymer concrete using M-sand. *International Journal of Chemical Sciences*. 2016; 1(14):115-126.

24. Nakhaev M.R., Salamanova M.Sh., Ismailova Z.Kh. Regularities of the processes of formation of the structure and strength of a clinker-free binder of alkaline activation. *Building Materials and Products*. 2020; 3(1):21-29. (rus.).

Received February 4, 2022.

Adopted in revised form on March 2, 2022.

Approved for publication on March 10, 2022.

BIONOTES: **Madina Sh. Salamanova** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Director of the Scientific and Technical Center for Collective Use “Modern Building Materials and Technologies”; **Grozny State Oil Technical University named after Academician M.D. Millionshchikov**; 100 Isayeva pr., Grozny, 364051, Russian Federation; **Complex Research Institute named after Kh.I. Ibragimov of the Russian Academy of Sciences**; 21 a Alieva st., Grozny, 364051, Russian Federation; SPIN-code: 614-9180, Scopus: 57192895779, ResearcherID: ABF-7578-2020, ORCID: 0000-0002-1293-7090; madina_salamanova@mail.ru.

Унификация конструкции пролетных строений с несущими элементами из полимерных композиционных материалов

Андрей Сергеевич Короткий, Артем Николаевич Иванов

Сибирский государственный университет путей сообщения (СГУПС); г. Новосибирск, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Подверженность традиционных строительных материалов коррозии оказывает негативное влияние на долговечность мостовых сооружений. Решением проблемы долговечности мостов является применение коррозионно-стойких полимерных композиционных материалов (ПКМ) в качестве основных несущих элементов пролетных строений. Для наиболее эффективного использования прочностного потенциала композитов они включаются в совместную работу с традиционными строительными материалами. Цель исследования — унификация конструкции пролетных строений с несущими элементами из ПКМ на основе известного конструктивного решения под типовые длины пролетных строений для повышения конкурентоспособности гибридных конструкций.

Материалы и методы. Определены унифицируемые параметры гибридных пролетных строений. Унификация выполняется посредством расчета и конструирования каждого отдельного типоразмера пролета. Ввиду того, что расчет каждой конструкции идентичен, составлен алгоритм, согласно которому выполнены расчеты всех длин пролетов. Расчет плиты проезжей части реализован инженерным методом «отпечатка». Расчеты стеклопластиковых элементов главных ферм осуществлены с использованием конечно-элементных моделей гибридных пролетных строений, учитывающих особенности применяемых материалов.

Результаты. Произведены расчеты и конструирование четырех гибридных пролетных строений с основными несущими элементами из стеклопластика, в которых выдержано единое известное конструктивное исполнение. Определены основные технико-экономические показатели унифицированных пролетных строений и выполнено сравнение с аналогичными конструкциями из традиционных строительных материалов.

Выводы. Получена унифицированная линейка гибридных пролетных строений типовых длин с соответствующими комплектами конструктивных чертежей, которые могут быть использованы как на стадии вариантного проектирования сооружений, так и на этапе разработки проектной документации. Показаны преимущества использования ПКМ, связанные с возможностью их применения в труднодоступных районах страны.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: унификация, полимерные композиционные материалы, гибридное пролетное строение, алгоритм расчета, конечно-элементная модель, конструирование

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Короткий А.С., Иванов А.Н. Унификация конструкции пролетных строений с несущими элементами из полимерных композиционных материалов // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 3. С. 352–364. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.3.352-364

Автор, ответственный за переписку: Андрей Сергеевич Короткий, a.s.korotkiy@mail.ru.

Unification of superstructures having load-bearing elements made of fiber-reinforced polymer composites

Andrey S. Korotkiy, Artyom N. Ivanov

Siberian Transport University (STU); Novosibirsk, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The susceptibility of traditional building materials to corrosion has a negative impact on the durability of bridge structures. The solution to the problem of bridge durability is the use of corrosion-resistant fiber-reinforced polymer composites as the main load-bearing elements of superstructures. The joint performance of composites and traditional building materials ensures the most efficient use of the strength potential. The purpose of the study is to unify the design of superstructures, having load-bearing elements made of fiber-reinforced polymer composites by applying a well-known design solution to typical lengths of superstructures to increase the competitiveness of hybrid structures.

Materials and methods. Unified parameters of hybrid superstructures are determined. Unification is carried out through the calculation and design of each individual span size. Since the calculation pattern is identical for each structure, the same algorithm, developed by the authors, is employed to make calculations for each span length. The calculation of the roadway slab is performed using the engineering method of “the imprint”. Calculations of fiberglass elements of the main trusses are made using finite element models of hybrid superstructures with account taken of the characteristics of the materials used.

Results. Calculations were made and four hybrid superstructures, having main load-bearing elements made of fiberglass, were designed; a well-known unified design pattern was implemented in the designed elements. The main performance indicators of unified superstructures are determined and compared with those of similar structures made of traditional building materials.

Conclusions. A unified line of hybrid superstructures, having standard lengths, has been designed. Each has a set of structural drawings, which can be used both at the stage of the trial design of structures and at the stage of the project documentation development. Advantages of composite polymer materials, namely, their applicability in hard-to-reach areas of the country, are demonstrated.

KEYWORDS: unification, fiber-reinforced polymer composites, hybrid superstructure, calculation algorithm, finite-element model, designing

FOR CITATION: Korotkiy A.S., Ivanov A.N. Unification of superstructures having load-bearing elements made of fiber-reinforced polymer composites. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2022; 17(3):352-364. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.3.352-364 (rus.).

Corresponding author: Andrey S. Korotkiy, a.s.korotkiy@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Современное состояние транспортной инфраструктуры Российской Федерации имеет сложный характер. Одной из основных причин является коррозия стали, которая существенным образом влияет на долговечность мостов во всем мире. Коррозия воздействует не только на конструктивные характеристики, но и сокращает срок службы сооружения. Ежегодно эксплуатирующие организации несут существенные экономические затраты, связанные с обслуживанием, восстановлением и заменой поврежденных коррозией элементов. Данное обстоятельство побуждает инженеров искать новые технические решения для устранения этой проблемы. Одно из них — применение коррозионностойких строительных материалов, к которым относятся полимерные композиционные материалы (ПКМ), обладающие наряду с высокой сопротивляемостью агрессивной среде и наибольшей удельной прочностью.

С начала XXI в. в нашей стране и в мире активно ведутся различные исследования о возможности применения ПКМ в области мостостроения, которые показывают, что использование стеклопластиков в качестве элементов основных несущих конструкций оправдано и обосновано [1–8]. Полимерные композиты, как и любые строительные материалы, не лишены недостатков, главный из которых на сегодняшний день — их значительная стоимость, приводящая к большим начальным затратам при возведении сооружения. Однако пример полимерной композитной арматуры демонстрирует, что наращивание отечественного производства позволило довести уровень цен на нее до конкурентного со стальной арматурой уровня [9]. При этом конструкционные ПКМ имеют также и характерные для них особенности, которые в определенных условиях могут рассматриваться как недостатки: низкий модуль упругости, низкая сопротивляемость местным воздействиям, отсутствие пластичности. Исходя из этого, можно сделать вывод, что ПКМ не самодостаточны и требуют соответствующего подхода для эффективного использования их потенциала. Одно из таких решений — гибридные по материалу конструкции, сочетающие в себе элементы различных по свойствам материалов, включенных в совмест-

ную работу. Эффективность применения указанных конструкций проявляется в том числе и при использовании традиционных строительных материалов, что подтверждается в работе [10]. Исследования показывают, что гибридные конструкции при правильном использовании достоинств каждого из применяемых материалов и минимизации влияния их недостатков на работу конструкции в целом более предпочтительны с экономической точки зрения в сравнении с цельнокомпозитными решениями и вполне конкурентоспособны с конструкциями из традиционных строительных материалов [11–14]. Яркими примерами с подобного типа конструктивными решениями пролетных строений являются следующие мостовые сооружения.

В 2000 г. в США в штате Калифорния был сдан Kings Stormwater Channel Bridge. Мост полной длиной 20,1 м состоит из двух пролетных строений, представленных шестью главными балками круглого сечения, выполненными из углепластика, заполненными легким бетоном. Поверх балок устроена стеклопластиковая плита проезжей части, включенная в совместную работу с балками [15].

Один из первых в Европе автодорожных мостов с гибридным пролетным строением построен в Германии в 2008 г. Пролетное строение моста длиной 27 м и шириной 5 м представлено двумя стальными балками двутаврового сечения, поверху которых устроена стеклопластиковая плита проезжей части [16].

В Польше, вблизи г. Жешув, в 2016 г. введен в эксплуатацию первый в стране автодорожный мост, несущие элементы которого выполнены из композитного материала. Мост состоит из одного пролета длиной 22 м с двумя габаритами проезда по 3,5 м и одним тротуаром шириной 2 м. В поперечном направлении пролетное строение представляет собой систему из четырех главных балок U-образной формы, изготовленных из стеклопластика, объединенных в совместную работу с железобетонной плитой проезжей части [17].

В России первый автодорожный мост с композитным пролетным строением расположен на 5 километре автодороги «11 км а/д Н-2138 – Сосновка» в Новосибирской области над р. Пашенка. Мост полной длиной 24,1 м с габаритом проезда 4,5 м и двумя служебными проходами шириной по 0,75 м введен

в эксплуатацию в 2014 г. Балочное разрезное пролетное строение полной длиной 18 м представляет собой шесть несущих главных ферм, объединенных поверху плитой проезжей части. Решетчатые фермы выполнены из пултрузионного стеклопластика марки СППС-240 с болтовыми соединениями элементов, плита проезжей части — из бетона класса В30 со стальной арматурой класса А400.

Приемочные испытания¹ и результаты мониторинга технического состояния [18] моста через р. Пашенку показали, что гибридное пролетное строение с решетчатыми фермами из ПКМ может применяться на автодорожных мостах. Запасы несущей способности и стабильность работы в реальных условиях эксплуатации указывают на целесообразность унификации данного конструктивного решения под стандартные длины пролетных строений с целью повышения его конкурентоспособности посредством упрощения процесса проектирования, уменьшения трудозатрат на расчеты и сокращения длительности проектирования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве базового конструктивного решения для унификации принято пролетное строение гибридной по материалу конструкции, в которой главные фермы из стеклопластиковых элементов включены в совместную работу с железобетонной плитой проезжей части посредством арматурно-стержневых упоров. Главные фермы имеют конструкцию многорешетчатых деревянных ферм Тауна для обеспечения возможности изменения их параметров по длине пролетного строения при минимальном наборе типоразмеров сечений элементов, что позволяет наиболее рационально использовать дорогостоящий композитный материал. Железобетонная плита проезжей части обеспечивает поперечное распределение нагрузки между фермами и требуемую жесткость всей конструкции при ее высоте, сопоставимой с типовыми железобетонными балками, компенсируя малый модуль упругости стеклопластиковых элементов.

Так как железобетонная плита укладывается непосредственно на главные фермы, верхние пояса целесообразно выполнять в виде элементов с верхними горизонтальными полками, размеры которых должны быть достаточными для размещения крепежных элементов упоров. Нижние пояса для возможности создания строительного подъема пролетного строения путем силового выгиба должны иметь достаточную поперечную жесткость. Поэто-

му их также стоит изготавливать в виде элементов с развитым сечением из плоскости ферм. Ширина вертикальных полок поясов должна обеспечивать размещение необходимого количества крепежных элементов для прикрепления раскосов. Раскосы располагаются внутри поясов, следовательно, пояса должны быть составлены из двух ветвей, а раскосы иметь плоское поперечное сечение. Шаг раскосов будет иметь возможность изменяться по длине пролетного строения в соответствии с эпюрой материалов для рационального использования композита. Так как плита проезжей части устраивается на готовые фермы, установленные в проектное положение, фермы следует связать в поперечном направлении. Элементы связей необходимо прикреплять к стойкам ферм, для чего у них, как и у элементов поясов, требуется развитое поперечное сечение из плоскости ферм.

Изготовление стеклопластиковых элементов ферм по индивидуальным заказам приводит к значительному удорожанию проекта в целом, поэтому параметры всех элементов следует ориентировать на актуальные предложения рынка. Что касается бетона и металлических элементов, то в рассматриваемой конструкции пролетного строения отсутствуют неординарные конструктивные решения, которые бы могли вызвать трудность при изготовлении. Поэтому данная проблема касается исключительно стеклопластика. На сегодняшний день в России существует достаточное количество предприятий, изготавливающих пултрузионные профили, но их ассортимент ограничивается лишь малыми сечениями профилей, не подходящими для использования в качестве основных несущих элементов пролетных строений. Единственным отечественным предприятием, выпускающим крупноразмерные профили, является ООО «НТИЦ АпАТЭК – Дубна». Компанией был разработан стандарт организации² на стеклопластики марки СППС (стеклопластик профильный пултрузионный строительный), регламентирующий прочностные и деформативные характеристики для марок СППС-240 и СППС-340. Значения сопротивлений и деформативных характеристик стеклопластика производства ООО «НТИЦ АпАТЭК – Дубна», использованных при расчетах конструкций в рамках унификации, приведены соответственно в табл. 1, 2.

Унифицируемое конструктивное решение на примере моста через р. Пашенку показало, что оно вполне может конкурировать с типовыми железобетонными пролетными строениями из ре-

¹ Научно-технический отчет по результатам диагностического обследования и испытаний автодорожного моста через р. Пашенка на участке автомобильной дороги «Красный Яр – Сосновка» в Новосибирском районе НСО. Новосибирск, 2014. 50 с.

² СТО 39790001.03-2007. Пешеходные мосты и путепроводы. Конструкции дорожно-строительные из композитных материалов. Технические требования, методы испытаний и контроля. М. : ООО «НПП “АпАТЭК”», 2007. 82 с.

Табл. 1. Сопротивления стеклопластиков марок СППС-240 и СППС-340

Table 1. Resistances of fiberglass plastics, grades SPPS-240 and SPPS-340

Напряженное состояние State of stress		СППС-240 SPPS-240			СППС-340 SPPS-340	
		Обозначение Notation	Нормативное Pursuant to regulations	Расчетное According to calculations	Нормативное Pursuant to regulations	Расчетное According to calculations
Растяжение Strain	Продольное Longitudinal	R_1^t , МПа MPa	184,1	98,8	260,8	140
	Поперечное Transverse	R_2^t , МПа MPa	38,4	13,7	38,5	13,7
Сжатие Compression	Продольное Longitudinal	R_1^c , МПа MPa	150,8	82,2	191,9	104,6
	Поперечное Transverse	R_2^c , МПа MPa	55,3	26	79	37,2
Изгиб Bending	Продольное Longitudinal	R_1^b , МПа MPa	184,1	98,8	214,8	115,3
Сдвиг Shear		R_s , МПа MPa	20,7	10,2	20,7	10,2

Табл. 2. Жесткостные характеристики стеклопластиков марки СППС

Table 2. Rigidity characteristics of fiberglass plastics grade SPPS

Параметр жесткости Rigidity parameter	Нормативное Pursuant to regulations	Расчетное According to calculations
Модуль упругости при растяжении, сжатии и изгибе в продольном направлении, МПа Modulus of elasticity under tension, compression and bending in the longitudinal direction, MPa	28 000	20 438
Модуль упругости при растяжении, сжатии и изгибе в поперечном направлении, МПа Modulus of elasticity under tension, compression and bending in the transverse direction, MPa	8500	6204
Модуль сдвига, МПа Shear modulus, MPa	3000	
Коэффициент Пуассона в продольно-поперечном направлении Poisson's ratio in the longitudinal-transverse direction	0,23	
Коэффициент Пуассона в поперечном направлении Poisson's ratio in the transverse direction	0,09	

бристых балок, которые используются для перекрытия пролетов от 9 до 33 м. Поэтому главным параметром унификации была принята полная длина пролетного строения, а созависимыми параметрами — высота пролетного строения и шаг ферм. Необходимость включения созависимых параметров унификации обоснована обеспечением возможности замены железобетонных пролетных строений на гибридные при ремонте мостовых сооружений без существенных дополнительных трудозатрат.

Принятые в работе длины пролетных строений составили 15, 18, 24 и 33 м, как наиболее распространенные на автомобильных дорогах России. Пролетное строение длиной 9 м неконкурентоспособно по рассматриваемым параметрам унификации, что показали расчетные исследования опытного образца [1]. Высота пролетных строений принималась в интервале от 1/10 до 1/15 расчетного пролета с последующей корректировкой из условия размещения раскосов фермы. Шаг главных ферм в поперечном направлении принимался в диапазоне от 1 до 2 м.

Главный параметр унификации в ходе расчетов корректировке не подлежал, созаисимые параметры изменялись в указанных пределах, остальные параметры конструкции определялись с привязкой к актуальным каталогам конструкций, изготавливаемых на территории РФ.

Важным параметром пролетного строения на этапе проектирования служит габарит проезда. Анализ эксплуатирующихся в настоящее время мостовых сооружений на федеральных дорогах России и на территориальных дорогах нескольких субъектов Федерации (к рассмотрению приняты Кемеровская и Новосибирская области, а также Ханты-Мансийский автономный округ) продемонстрировал, что преобладающим габаритом на федеральных дорогах является Г-11,5 (дороги II категории), а на территориальных дорогах — габариты Г-10 (дороги III категории) и Г-8 (дороги IV категории). Дороги территориального значения по протяженности и количеству инженерных сооружений на них существенно превосходят дороги федерального значения. Цифры, полученные для трех рассматриваемых регионов, в целом отражают ситуацию по всей стране. Преобладающие на территории России — дороги III и IV категорий. В ранее проведенных исследованиях [1] показано, что конкурентоспособность изучаемого конструктивного решения повышается для отдаленных и труднодоступных регионов. Поэтому целевой областью его применения в первую очередь являются территориальные дороги. С учетом перспективного развития транспортной инфраструктуры регионов на первом этапе унификации гибридного пролетного строения принят габарит Г-10 с двумя служебными проходами шириной по 0,75 м.

Подбор и обоснование параметров пролетного строения осуществляется посредством выполнения расчетных проверок для всех элементов каждого пролетного строения. В связи с тем, что данный расчет — повторяющийся, составлен соответствующий алгоритм, по которому были просчитаны все пролетные строения в одинаковом объеме. Алгоритм расчета проведен в соответствии с требованиями³ и СТО 39790001.03-2007, а также уточняющими рекомендациями, изложенными в работе [1]. Блок-схема данного алгоритма расчета гибридных пролетных строений представлена на рис. 1.

Расчеты плиты проезжей части выполнены широко распространенным в практике инженерных расчетов методом «отпечатка». Отличие расчетной схемы плиты при данном методе от реальной работы элемента учитывается системой поправочных коэффициентов, зависящих от соотношения изгибной жесткости плиты к крутильной жесткости ферм. По результатам расчетов были определены параме-

тры верхней и нижней рабочей арматуры плиты из условий обеспечения прочности по изгибающему моменту и по поперечной силе, а также условий обеспечения выносливости бетона и арматуры, и трещиностойкости бетона согласно требованиям СП 35.13330.2011.

Расчеты элементов главных ферм произведены с использованием конечно-элементных моделей (КЭМ) пролетных строений, составленных в программе Midas Civil. Автором статьи в рамках выполнения гранта СГУПС выполнена работа [19] по уточнению расчетной КЭМ пролетного строения моста через р. Пашенку, которая и была принята за основу в данном исследовании.

Технология сооружения пролетного строения не предусматривает его разгрузки от собственного веса, поэтому оно работает стадийно, для учета этой стадийности в расчетах составлено по две модели для каждого пролетного строения. На первой стадии пролетное строение представляет собой систему главных ферм, объединенных между собой только поперечными связями и воспринимающих нагрузку от собственного веса и веса плиты проезжей части. На второй стадии пролетное строение — это система главных ферм, объединенных в совместную работу с плитой, совместно воспринимающих вторую часть постоянных нагрузок (элементы мостового полотна) и временную подвижную нагрузку. Общий вид расчетных моделей пролетного строения на двух стадиях работы показан на рис. 2.

В расчетных моделях стеклопластиковые элементы ферм заданы балочными конечными элементами (КЭ), работающими в том числе и на изгиб. Железобетонная плита проезжей части задается плитными КЭ. В связи с тем, что опорная стойка имеет достаточно сложное сечение, она задается двумя балочными элементами, соединенными между собой по высоте жесткими связями. Опирающие пролетного строения осуществляется на резинометаллические опорные части через металлические распределительные опорные листы толщиной 40 мм. Опорный металлический лист в расчетах задан плитными КЭ, опорные части — одноузловыми связями расчетной жесткости. Общий вид опорного узла в расчетной модели представлен на рис. 3.

Нагрузка от собственного веса стеклопластиковых элементов была задана и приложена к расчетным моделям в Midas Civil с помощью стандартных алгоритмов программы. Нагрузка от веса плиты на первой стадии работы принята равномерно распределенной по верхним поясам ферм. Остальные постоянные нагрузки заданы равномерно распределенными по площади плиты проезжей части. Опасное положение временных подвижных

³ СП 35.13330.2011. Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84*. М. : ОАО «ЦПП», 2011. 340 с.

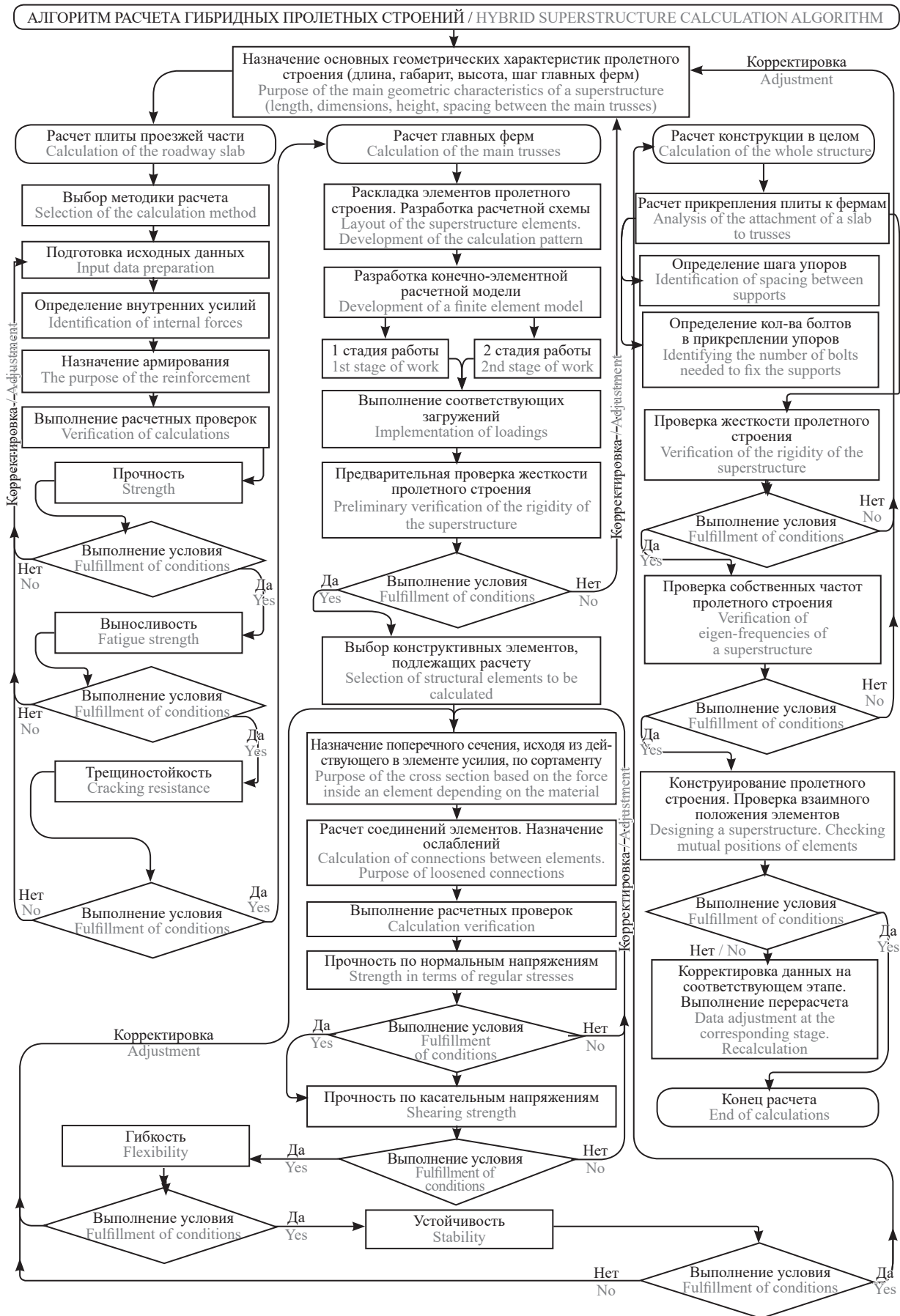


Рис. 1. Алгоритм расчета гибридных пролетных строений

Fig. 1. A hybrid superstructure calculation algorithm

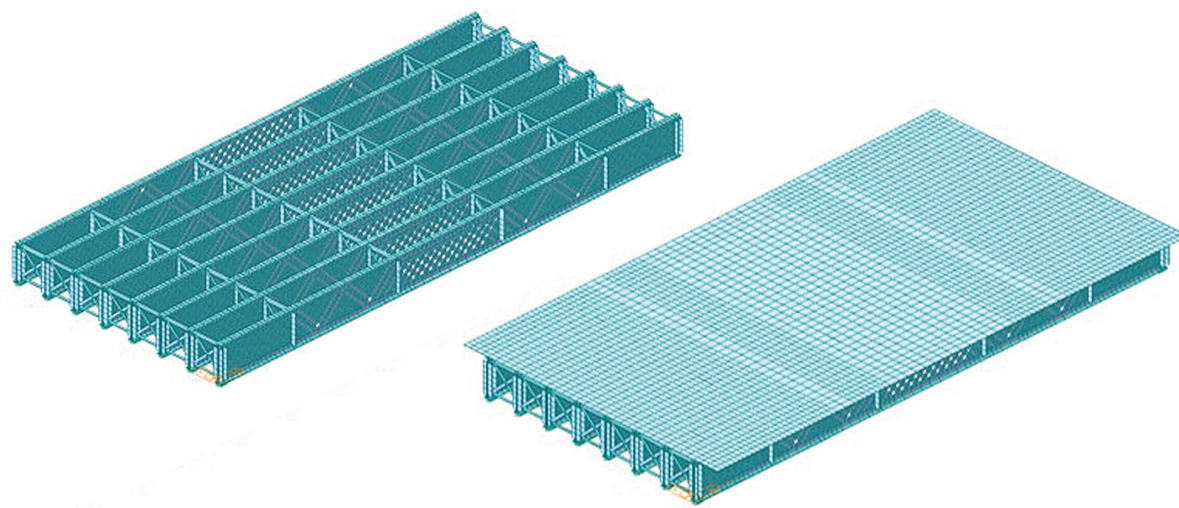


Рис. 2. Общий вид пролетного строения на первой (слева) и второй (справа) стадиях

Fig. 2. General view of the superstructure at stages 1 (on the left) and 2 (on the right)

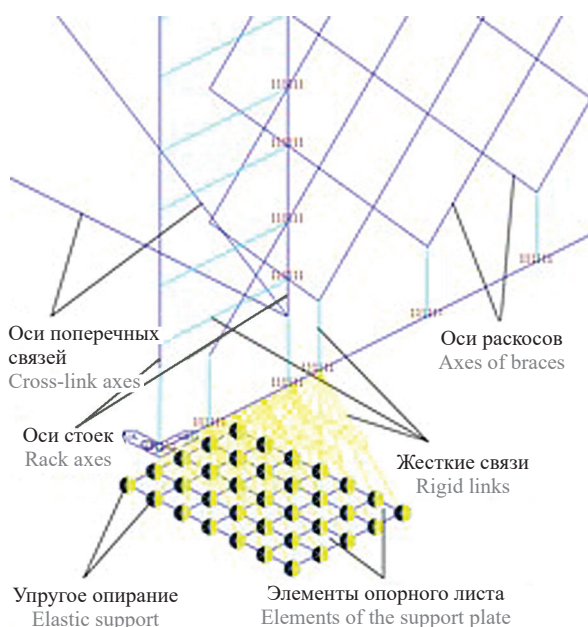


Рис. 3. Общий вид опорного узла в расчетной модели

Fig. 3. General view of a heel joint of the computational model

нагрузок А14 и Н14 определялось с помощью стандартных алгоритмов Midas Civil в продольном и поперечном направлениях для каждого силового фактора рассчитываемого элемента. В поперечном направлении поиск опасного положения осуществлялся шагом перестановки 0,1 м. Граничные положения рассмотренных в расчетах схем нагружения моделей нагрузками А14 и Н14 в поперечном направлении приведены на рис. 4, 5.

Подбор сечений элементов главных ферм на начальном этапе осуществлялся из условий обеспечения их прочности, устойчивости формы и гибкости. В расчетах по прочности учитывалось ослабление поперечных сечений отверстиями под болты (сечения нетто), в проверках по устойчивости формы и гибкости рассматривались поперечные сечения элементов без учета ослаблений (сечения брутто). Проверки прочности выполнены из условий ограничения максимальных нормальных и касательных напряжений. При проверках по устойчивости формы для определения значений коэффициентов продольного изгиба была исполь-

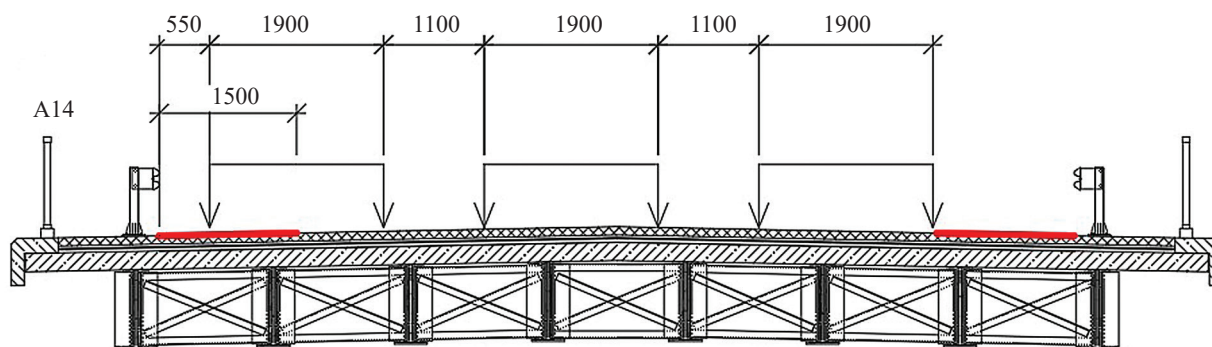


Рис. 4. Схема граничного положения нагрузки А14 на проезде

Fig. 4. Diagram of the boundary position of load A14 on the driveway

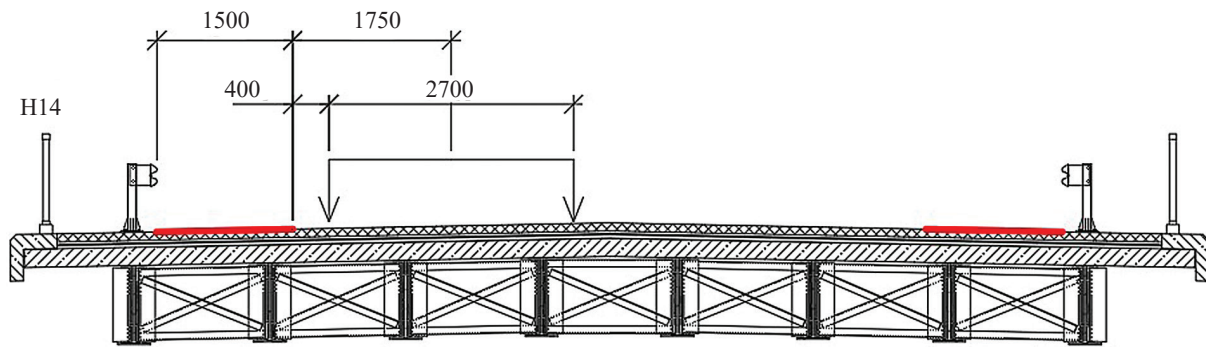


Рис. 5. Схема граничного положения нагрузки Н14 на проезде

Fig. 5. Diagram of the boundary position of load H14 on the driveway

зована методика, регламентированная в нормативном документе⁴ для элементов стальных конструкций. Такое допущение обусловлено схожестью конструктивной формы поперечных сечений стеклопластиковых элементов со стальными и отсутствием в нормативных документах требуемых данных для расчета элементов из ПКМ.

Ослабления сечений подбирались из расчета соединений. Все соединения стеклопластиковых элементов приняты болто-фрикционными, несущая способность которых обеспечивается силами трения по контакту поверхностей соединяемых элементов, возникающих посредством натяжения высокопрочных болтов. Ранее проведенные расчетные исследования [20] показали, что такие соединения имеют большую теоретическую прочность в сравнении с болтовыми соединениями, а натурные испытания опытного пролетного строения подтвердили обоснованность замены обычных болтов на высокопрочные с уменьшением их количества в 2 раза [1]. Расчеты всех соединений выполнены по регламентированной методике, приведенной в СП 35.13330.2011 с уточняющими дополнениями, изложенными в работе [1].

Для равномерного распределения стягивающих усилий от натянутого высокопрочного болта по поверхности стеклопластика из условия ограниченного развития неупругих деформаций композита поперек волокон армирования используются металлические шайбы специальной формы [21], параметры которых были определены по следующим формулам.

Внешний диаметр шайбы:

$$D = \sqrt{\frac{4P}{\pi R_c} + d_{\Phi}^2}, \quad (1)$$

где P — усилие натяжения высокопрочного болта; R_c — расчетное сопротивление композиционного материала на сжатие; d_{Φ} — диаметр фаски (или наружный диаметр отверстия).

Высота шайбы:

$$h = 0,2(D - 1,6d). \quad (2)$$

Глубина фаски:

$$h_{\Phi} = 0,5h. \quad (3)$$

Шаг упоров, обеспечивающих совместную работу плиты проезжей части с главными фермами, и количество болтов в их прикреплении установлены из условий обеспечения восприятия сдвигающих и отрывающих усилий согласно указаниям, приведенным в СП 35.13330.2011, по расчетным данным распределения нормальных напряжений в плите вдоль пролета.

Проверка общих вертикальных деформаций пролетных строений заключалась в ограничении величины расчетных прогибов конструкции от действия временных нормативных подвижных нагрузок, вычисленных по расчетным моделям в Midas Civil. Предельным значением прогиба для конструкций автодорожных мостов является величина, равная 1/400 расчетного пролета согласно СП 35.13330.2011.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

По результатам описанных выше расчетов было выполнено конструирование четырех пролетных строений полными длинами 15, 18, 24, 33 м, в рамках которого в конструкции внесены частные корректировки, обусловленные конструктивными особенностями расстановки элементов. Во всех пролетных строениях выдержано единое конструктивное решение главных ферм и одинаковая форма всех элементов. Отличия в основном касаются расстановки элементов по длине и размеров их поперечных сечений. В пролетных строениях длиной 15, 18 и 24 м фермы изготовлены из стеклопластика марки СППС-240. Длина 33 м оказалась критичной для рассматриваемого конструктивного решения, так как прочностных характеристик стеклопластика марки СППС-240 оказалось недоста-

⁴ СП 16.13330.2011. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*. М.: ОАО «ЦПП», 2011. 177 с.

точно для восприятия расчетных нагрузок при сохранении единообразия форм поперечных сечений элементов. В связи с этим для обеспечения унификации конструкции по всей линейке длин для пролетного строения длиной 33 м марка стеклопластика принята СППС-340. Основные характеристики разработанных пролетных строений приведены в табл. 3. По каждому из рассчитанных пролетов разработаны комплекты конструктивных чертежей, дающие наглядное представление об особенностях конструкций и возможность применять их при разработке проектов автодорожных мостов. В качестве примера на рис. 6, 7 показаны соответственно

фасад и поперечное сечение пролетного строения длиной 24 м.

Рассчитанные гибридные пролетные строения с основными несущими элементами из стеклопластика в среднем имеют высоту на 20 % больше по сравнению с типовыми железобетонными балками аналогичных типоразмеров, что обусловлено главным образом низким расчетным значением модуля упругости пултрузионного стеклопластика. Масса гибридных пролетных строений варьируется от 110 до 250 т в зависимости от длины. Стоит отметить, что в среднем 84 % массы приходится на монолитную железобетонную плиту

Табл. 3. Характеристики принятых к расчету пролетных строений

Table 3. Characteristics of superstructures accepted for calculation

Полная длина, м Total span, m	Расчетная длина, м Span, m	Высота, м Height, m	Объем бетона/ стеклопластика, м³ Concrete/fiberglass volume, m³	Вес бетона/ стеклопластика, т Weight of concrete/ fiberglass, t
15	14,62	1,07	38,04/6,33	96,9/12,1
18	17,62	1,22	25,83/8,49	65,8/16,1
24	23,56	1,58	61,68/18,39	155,1/27,9
33	32,51	1,92	84,81/24,79	213,3/50,0

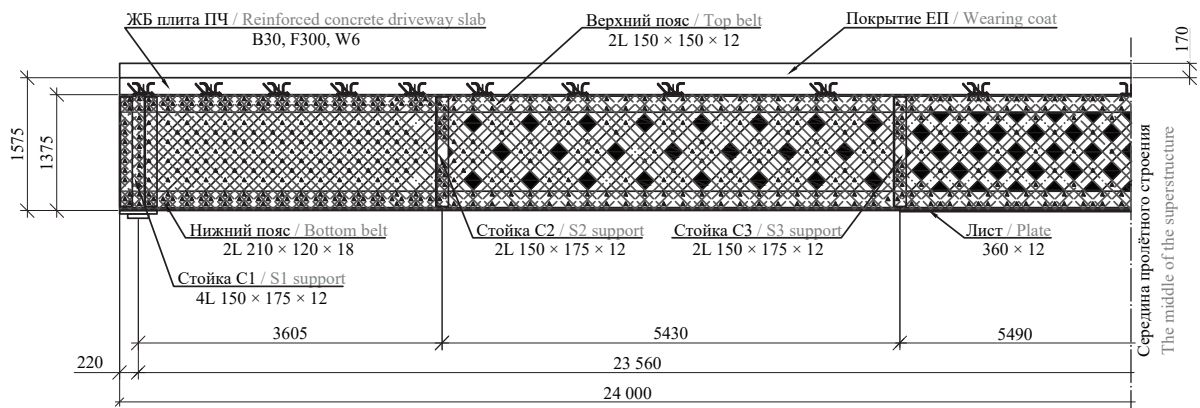


Рис. 6. Фасад половины пролетного строения длиной 24 м

Fig. 6. The facade of the half of the superstructure that is 24 m long

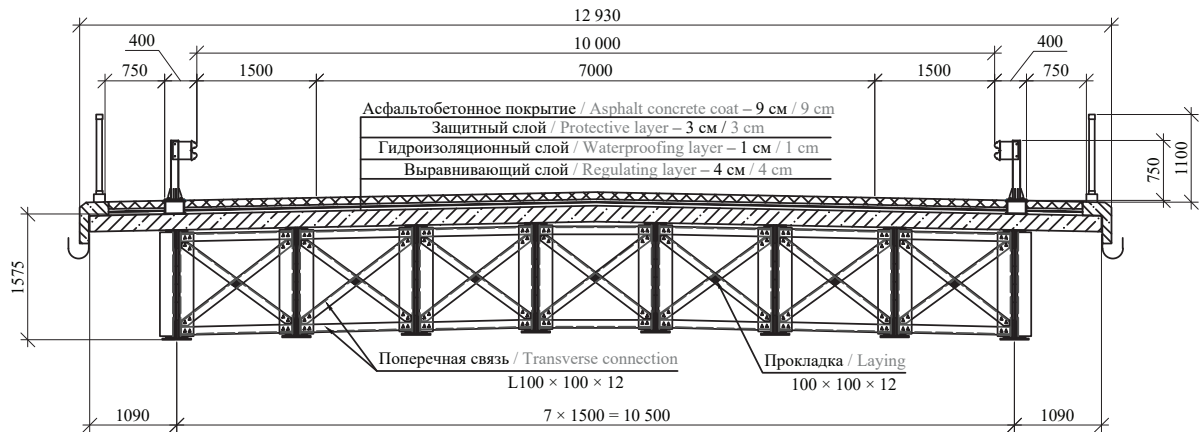


Рис. 7. Поперечное сечение пролетного строения длиной 24 м

Fig. 7. Cross-section of a superstructure that is 24 m long

проезжей части и лишь 16 % на композитный материал. В среднем рассчитанные пролетные строения легче аналогичных железобетонных типовых конструкций на 50 %. Стоимость гибридных пролетных строений варьируется от 3,8 до 15,2 млн рублей при средней стоимости тонны стеклопластика 300 тыс. рублей. Стоимость пролетных строений из типовых железобетонных балок в ценах на 2020 г. изменяется от 3,1 до 12,6 млн рублей. В среднем стоимость гибридных пролетных строений выше стоимости железобетонных пролетных строений из типовых балок на 20 %.

Масса одной стеклопластиковой фермы составляет от 1,5 до 5,1 т в зависимости от ее длины, а масса одной железобетонной балки варьируется от 20 до 63 т. Даже при условии монтажа ферм укрупненными блоками (несколько ферм сразу) их общий вес все равно будет меньше веса типовой железобетонной балки. Это позволит уменьшить период монтажа и использовать на монтаже крановую технику меньшей грузоподъемности в сравнении с железобетонными пролетными строениями, что приведет к сокращению затрат на этапе строительства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам выполненных работ получена унифицированная конструкция пролетных строений 15, 18, 24 и 33 м с полным комплектом чертежей и общих данных, которые могут быть использованы как на стадии вариантного проектирования сооружений, так и на этапе разработки проектной документации. На этапе вариантного проектирования унифицированная конструкция может быть применена без существенных доработок, а на этапе разработки проектной документации может быть реализован предложенный алгоритм расчета для

уточнения каких-либо параметров конструкции в зависимости от исходных данных и условий эксплуатации сооружения. Размеры рассчитанных пролетных строений близки к параметрам типовых эксплуатирующихся конструкций, что в перспективе позволит заменить их при исчерпании ресурса без значительного переустройства опор, а также использовать готовые типовые решения элементов моста при новом проектировании.

Анализируя стоимостные показатели, стоит отметить, что стоимость ПКМ значительно выше, чем традиционных строительных материалов, эффективность их применения проявляется пока только в процессе эксплуатации и выражается в увеличении срока службы конструкции, уменьшении расходов на их содержание и ремонт, что довольно детально изложено в работе [1] на примере гибридных пролетных строений автодорожных мостов и в труде [22] на примере композитных пролетных строений железнодорожных мостов.

Малый удельный вес и небольшие размеры элементов главных ферм позволяют транспортировать их в любые труднодоступные регионы страны, такие как: Сибирь, Дальний Восток, Арктическая зона, места освоения новых нефтяных и газовых месторождений, проводить сборку ферм непосредственно на строительной площадке вручную, осуществлять монтаж ферм без применения крановой техники большой грузоподъемности.

Полученные результаты, с одной стороны, подтверждают возможность использования композитных пролетных строений в качестве альтернативы широко применяемым в практике отечественного мостостроения техническим решениям из традиционных строительных материалов, а с другой стороны, уже сейчас могут быть применены при проектировании сооружений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Иванов А.Н. Совершенствование конструкции и методики расчета пролетных строений мостов с несущими элементами из композиционных материалов : дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2015. 183 с.
2. Иванов А.Н. Проблемы применения полимерных композиционных материалов в несущих конструкциях железнодорожных мостов // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2020. № 3 (54). С. 29–37.
3. Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Мандрик-Котов Б.Б., Михалдыкин Е.С. Проблемы применения полимерных композиционных материалов в транспортном строительстве // Интернет-журнал «Науковедение». 2016. Т. 8. № 6 (37). С. 89.
4. Ушаков А.Е., Кленин Ю.Г., Сорина Т.Г., Хайретдинов А.Х., Сафонов А.А. Мостовые конструк-

- ции из композитов // Композиты и наноструктуры. 2009. № 3 (3). С. 25–37.
5. Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Чесноков Г.В., Михалдыкин Е.С. О проблеме расчета трубобетонных конструкций с оболочкой из разных материалов. Часть 3. Опыт применения полимерных композитных материалов в мостостроении // Интернет-журнал «Науковедение». 2015. Т. 7. № 5 (30). С. 151. DOI: 10.15862/27TVN515
6. Ali H., Akrami R., Fotouhi S., Bodaghi M., Saeedifar M., Yusuf M. et al. Fiber Reinforced Polymer Composites in Bridge Industry: A review // Structures. 2021. Vol. 30. Pp. 774–785. DOI: 10.1016/j.istruc.2020.12.092
7. Sonnenschein R., Gajdosova K., Holly I. FRP composites and their using in the construction of bridge-

es // Procedia Engineering. 2016. Vol. 161. Pp. 477–482. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.08.665

8. Kitane Y., Aref A.J. Fiber-reinforced polymer (FRP) composites for bridge superstructures. 2013. Pp. 347–381. DOI: 10.1533/9780857098955.2.347

9. Кустикова Ю.А., Римишин В.И., Шубин Л.И. Практические рекомендации и технико-экономическое обоснование применения композитной арматуры в железобетонных конструкциях зданий и сооружений // Жилищное строительство. 2014. № 7. С. 14–18.

10. Кришан А.Л., Римишин В.И., Астафьева М.А. Сжатые трубобетонные элементы. Теория и практика. М. : Изд-во АСВ, 2020. 322 с.

11. Xingxing Z., Lin H., Feng P., Bao Y., Wang J. A review on FRP-concrete hybrid sections for bridge applications // Composite Structures. 2020. Vol. 262. Issue 2. P. 113336. DOI: 10.1016/j.compstruct.2020.113336

12. Gonilha J.A., Barros J., Correia J.R., Sena-Cruz J., Branco F.A., Ramos L.F. et al. Static, dynamic and creep behaviour of a full-scale GFRP-SFRSCC hybrid footbridge // Composite Structures. 2014. Vol. 118. Issue 1. Pp. 496–509. DOI: 10.1016/j.compstruct.2014.08.009

13. Muc A., Stawiarski A., Chwal M. Design of the hybrid FRP/concrete structures for bridge constructions // Composite Structures. 2020. Vol. 247. P. 112490. DOI: 10.1016/j.compstruct.2020.112490

14. Siwowski T., Rajchel M., Kulpa M. Design and field evaluation of a hybrid FRP composite — Lightweight concrete road bridge // Composite Structures. 2019. Vol. 230. P. 111504. DOI: 10.1016/j.compstruct.2019.111504

15. Chen Y. Optimization of the hybrid RC/FRP beam system. Hongkong : Northern Jiaotong University, 2003. 250 p.

16. Hollaway L.C. Advanced fibre-reinforced polymer (FRP) composite materials in bridge engineering: materials, properties and applications in bridge enclosures, reinforced and prestressed concrete beams and columns // Advanced Fibre-Reinforced Polymer (FRP) Composites for Structural Applications. 2013. Pp. 582–630. DOI: 10.1533/9780857098641.4.582

17. Siwowski T., Rajchel M., Kaleta D. Development, testing and construction of the hybrid FRP composite-concrete road bridge // 39th IABSE Symposium — Engineering the Future. 2017. DOI: 10.2749/vancouver.2017.1824

18. Иванов А.Н., Кузьменков П.Ю. Мониторинг технического состояния автодорожного моста через реку Пашенку // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2016. № 2 (37). С. 20–27.

19. Короткий А.С., Иванов А.Н. Расчетная модель композитного пролетного строения для мониторинга его напряженно-деформированного состояния // Наука и молодежь СГУПС в третьем тысячелетии : сб. науч. ст. аспирантов и аспирантов-стажеров. Новосибирск : Сибирский государственный университет путей сообщения, 2021. С. 58–66.

20. Иванов А.Н. Перспективы применения болтофрикционных соединений элементов из полимерных фиброармированных композитов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2013. № 10 (658). С. 104–109.

21. Патент РФ № 141108, МПК E04F 13/02. Опорная шайба / Б.В. Пыринов, А.Н. Иванов, А.Н. Яшнов; заяв. и патентообл. ФГБОУ ВПО «СГУПС»; заявл. № 2013132793/03 от 15.07.2013; опубл. 27.05.2014. Бюл. № 15. 4 с.

22. Ушаков А.Е., Ермаков В.М., Егоров М.А. Технико-экономическая оценка применения пролетных строений из композиционных материалов // Путь и путевое хозяйство. 2020. № 4. С. 30–34.

Поступила в редакцию 27 декабря 2021 г.

Принята в доработанном виде 3 марта 2022 г.

Одобрена для публикации 10 марта 2022 г.

ОБ АВТОРАХ: Андрей Сергеевич Короткий — аспирант кафедры мосты; Сибирский государственный университет путей сообщения (СГУПС); 630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, д. 191; РИНЦ ID: 1067897; a.s.korotkiy@mail.ru;

Артём Николаевич Иванов — кандидат технических наук, доцент кафедры мосты; Сибирский государственный университет путей сообщения (СГУПС); 630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, д. 191; РИНЦ ID: 702442, ORCID: 0000-0003-4445-6782; a.n.ivanov1@mail.ru.

Вклад авторов:

Короткий А.С. — разработка концепции, проведение исследования, написание исходного текста, описание результатов и формирование выводов исследования.

Иванов А.Н. — научное руководство, концепция исследования, доработка текста.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

- Ivanov A.N. *Improving the design and methodology for calculating the span structures of bridges with load-bearing elements made of composite materials : diss. cand. tech. sciences.* Novosibirsk, 2015; 183. (rus.).
- Ivanov A.N. Problems of the use of polymer composite materials in the supporting structures of railway bridges. *Bulletin of the Siberian State University of Communications.* 2020; 3(54):29-37. (rus.).
- Ovchinnikov I.I., Ovchinnikov I.G., Mandrik-Kotov B.B., Mikhaldykin E.S. Problems of application of polymeric composite materials in transport construction. *Science Journal Internet Journal.* 2016; 8:6(37):89. (rus.).
- Ushakov A.E., Klenin Yu.G., Sorina T.G., Khairtdinov A.Kh., Safonov A.A. Bridge structures made of composites. *Composites and Nanostructures.* 2009; 3(3):25-37. (rus.).
- Ovchinnikov I.I., Ovchinnikov I.G., Chesnokov G.V., Mikhaldykin E.S. About the problem of the analysis of tube-confined concrete structures with a shell made of different materials. Part 3. Experience of using fiber reinforcement plastic in bridge construction. *Journal of Science Science.* 2015; 7:5(30):151. DOI: 10.15862/27TVN515 (rus.).
- Ali H., Akrami R., Fotouhi S., Bodaghi M., Saeedifar M., Yusuf M. et al. Fiber Reinforced Polymer Composites in Bridge Industry: A review. *Structures.* 2021; 30:774-785. DOI: 10.1016/j.istruc.2020.12.092
- Sonnenschein R., Gajdosova K., Holly I. FRP composites and their using in the construction of bridges. *Procedia Engineering.* 2016; 161:477-482. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.08.665
- Kitane Y., Aref A.J. *Fiber-reinforced polymer (FRP) composites for bridge superstructures.* 2013; 347-381. DOI: 10.1533/9780857098955.2.347
- Kustikova Yu.A., Rimshin V.I., Shubin L.I. Practical recommendations and feasibility study for the use of composite reinforcement in reinforced concrete structures of buildings and structures. *Housing Construction.* 2014; 7:14-18. (rus.).
- Krishan A.L., Rimshin V.I., Astafieva M.A. *Compressed concrete elements. Theory and practice.* Moscow, DIA Publishing House, 2020; 322. (rus.).
- Xingxing Z., Lin H., Feng P., Bao Y., Wang J. A review on FRP-concrete hybrid sections for bridge applications. *Composite Structures.* 2020; 262(2):113336. DOI: 10.1016/j.compstruct.2020.113336
- Gonilha J.A., Barros J., Correia J.R., Sena-Cruz J., Branco F.A., Ramos L.F. et al. Static, dynamic and creep behaviour of a full-scale GFRP-SFRSCC hybrid footbridge. *Composite Structures.* 2014; 118(1):496-509. DOI: 10.1016/j.compstruct.2014.08.009
- Muc A., Stawiarski A., Chwał M. Design of the hybrid FRP/concrete structures for bridge constructions. *Composite Structures.* 2020; 247:112490. DOI: 10.1016/j.compstruct.2020.112490
- Siwowski T., Rajchel M., Kulpa M. Design and field evaluation of a hybrid FRP composite — Light-weight concrete road bridge. *Composite Structures.* 2019; 230:111504. DOI: 10.1016/j.compstruct.2019.111504
- Chen Y. *Optimization of the hybrid RC/FRP beam system.* Hongkong, Northern Jiaotong University, 2003; 250.
- Hollaway L.C. Advanced fibre-reinforced polymer (FRP) composite materials in bridge engineering: materials, properties and applications in bridge enclosures, reinforced and prestressed concrete beams and columns. *Advanced Fibre-Reinforced Polymer (FRP) Composites for Structural Applications.* 2013; 582-630. DOI: 10.1533/9780857098641.4.582
- Siwowski T., Rajchel M., Kaleta D. Development, testing and construction of the hybrid FRP composite-concrete road bridge. *39th IABSE Symposium — Engineering the Future.* 2017. DOI: 10.2749/vancouver.2017.1824
- Ivanov A.N., Kuzmenkov P.Yu. Monitoring of the technical condition of the road bridge across the Pashenka River. *Bulletin of the Siberian State University of Communications.* 2016; 2(37):20-27. (rus.).
- Korotkiy A.S., Ivanov A.N. The design model of a composite superstructure for monitoring its stress-strain state. *Science and youth of SGUPS in the third millennium: a collection of scientific articles by graduate students and graduate students-trainees.* Novosibirsk, Siberian State University of Communications, 2021; 58-66. (rus.).
- Ivanov A.N. About the problems of connection elements of polymer fibre reinforced composites. *News of Higher Educational Institutions.* 2013; 10(658):104-109. (rus.).
- Patent RU No. 141108, IPC E04F 13/02. Support washer / B.V. Pyrinov, A.N. Ivanov, A.N. Yashnov; applicant and patent holder Siberian State Transport University; application No. 2013132793/03 dated 07/15/2013; published on 05/27/2014. Bulletin No. 15; 4.
- Ushakov A.E., Ermakov V.M., Egorov M.A. Technical and economic assessment of the use of span structures made of composite materials. *Way and Track Management.* 2020; 4:30-34. (rus.).

Received December 27, 2021.

Adopted in revised form on March 3, 2022.

Approved for publication on March 10, 2022.

B I O N O T E S: **Andrey S. Korotkiy** — postgraduate of the Department of Bridges; **Siberian State University (STU)**; 191 Dusi Kovalchuk st., Novosibirsk, 630049, Russian Federation; ID RISC: 1067897; a.s.korotkiy@mail.ru;

Artyom N. Ivanov — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Bridges; **Siberian State University (STU)**; 191 Dusi Kovalchuk st., Novosibirsk, 630049, Russian Federation; ID RISC: 702442, ORCID: 0000-0003-4445-6782; a.n.ivanov1@mail.ru.

Contribution of the authors:

Korotkiy A.S. — concept development, research, writing of the source text, description of the results and formation of conclusions of the study.

Ivanov A.N. — scientific management, research concept, follow on revision of the text.

The authors declare no conflict of interest.

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 69.009 : 711

DOI: 10.22227/1997-0935.2022.3.365-376

Основные положения концепции реинжиниринга территории и застройки

Сергей Борисович Сборщиков, Павел Анатольевич Журавлев

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Развитие застроенных городских территорий, направленное на улучшение условий проживания и жизнедеятельности, реализуется в границах элемента планировочной структуры, а также смежных элементов и имеет важное значение, затрагивая интересы значительной части населения страны.

Материалы и методы. Предметом исследования является формирующая структура построения реинжиниринга в строительстве совокупность мероприятий, обеспечивающих качественное преобразование инженерных (технических) решений. Объект исследования — процесс качественного преобразования технологических (технических) решений и бизнес-процессов (управленческих решений). Отмечено, что фактическое направление в преобразовании территории и застройки осуществляется путем реализации мероприятий в рамках реинжиниринга технологических процессов (технических решений), включающих этапы реконструкции, реновации, технического перевооружения, перепрофилирования и рекультивации. Приведены факторы, оказывающие влияние на реинжиниринг управленческих решений. Представлены признаки состава и свойств реинжиниринга территории и застройки, характерные при практической реализации. Метод исследования — структурный и функциональный анализ.

Результаты. Описаны существующие принципиальные различия характера регулирующих воздействий при традиционной форме восстановления (модернизации), а также воздействий в рамках реинжиниринга территории и застройки. Констатируется, что комплексный подход воздействия при реинжиниринге территории и застройки выражается в характере связи «застройка территории — объект капитального строительства — техническое решение», а также объемов и интенсивностей воздействий. Представлена общая схема концепции реализации реинжиниринга территории и застройки. Положения концепции реинжиниринга территории и застройки сформулированы впервые.

Выводы. Практическое применение концепции реинжиниринга территории и застройки выражается реализацией мероприятий и процедур в рамках функциональных составляющих (архитектурно-строительной, организационно-технологической, финансово-экономической). Констатируется, что повышение эффективности реализации концепции предполагает создание на основе математических и информационных моделей элементов организации управления программами и проектами реинжиниринга территории и застройки, которые обеспечат сокращение продолжительности и стоимости реинжиниринга, достижение заданного уровня качества строительной продукции, формирование комфортной и безопасной среды жизнедеятельности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: реинжиниринг территории и застройки, структура и состав реинжиниринга, пространственное развитие, концепция реинжиниринга, управление программой реинжиниринга, математическое и информационное моделирование реинжиниринга, комфортная и безопасная среда жизнедеятельности

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Сборщиков С.Б., Журавлев П.А. Основные положения концепции реинжиниринга территории и застройки // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 3. С. 365–376. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.3. 365–376

Автор, ответственный за переписку: Сергей Борисович Сборщиков, sbs@mgssu.ru.

Reengineering of territories and built-up areas: a conceptual framework

Sergej B. Sborshchikov, Pavel A. Zhuravlev

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

ABSTRACT

Introduction. The development of built-up urban areas, aimed at improving the living arrangements and standards, is implemented within the boundaries of an element of a structural plan, as well as related elements. It is important, since it

affects the interests of a substantial part of the country's population. The achievement of the goals, pursued by the national projects and programmes as socio-economic development tools, depends directly on the effective development of built-up areas. The effective development of built-up areas involves comprehensive transformation and modernization of territories and buildings on the basis of the concept of reengineering of territories and built-up areas, including methods of effective and high-quality change management.

Materials and methods. The subject of the study is a set of measures that ensure the qualitative transformation of engineering (technological) solutions and serve as the backbone structure of reengineering in construction. The object of the study is the process of qualitative transformation of technological (technical) solutions and business processes (management decisions). It is noted that the actual focus of transformation of territories and built-up areas is implemented in the course of actions, taken within the framework of reengineering of technological processes (technical solutions), including the stages of reconstruction, renovation, technical retooling, repurposing, and reclamation. The factors, influencing the reengineering of management solutions, are provided. Features of the composition and properties of the reengineering of territories and built-up areas, characteristic of its practical implementation, are presented. Research methods include structural and functional analyses.

Results. Current fundamental differences in the nature of regulatory impacts accompanying the traditional type of restoration (modernization), as well as impacts, made within the framework of reengineering of territories and built-up areas, are described. The authors suggest that the integrated approach of impacts, made in the process of reengineering of territories and built-up areas, is conveyed in the relationship between "property development – capital construction facilities – a technological solution", as well as the scope and intensity of impacts. The general framework for the concept, underlying the implementation of the reengineering of territories and built-up areas, is presented.

KEYWORDS: reengineering of territories and built-up areas, structure and composition of reengineering, spatial development, reengineering concept, reengineering programme management, mathematical and information modeling of reengineering, comfortable and safe living environment

FOR CITATION: Sborshchikov S.B., Zhuravlev P.A. Reengineering of territories and built-up areas: a conceptual framework. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2022; 17(3):365-376. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.3.365-376 (rus.).

Corresponding author: Sergej B. Sborshchikov, sbs@mgsu.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие застроенных городских территорий, направленное на улучшение условий проживания и жизнедеятельности, реализуется в границах элемента планировочной структуры, а также смежных элементов и их частей, и имеет важное значение для широких слоев населения [1].

Преодоление в современном обществе противоречий между запросами потребителей и характеристиками строительной продукции осуществляется под воздействием явлений социальной и территориальной конвергенции при помощи обновления, модернизации, переоснащения и соответствующей трансформации существующих градостроительных, технических, инженерных проектных решений [2–9].

Выполнение целевых показателей национальных проектов и программ, как инструмента социально-экономического развития, напрямую зависит от эффективного развития застроенных территорий.

Реализация любого инвестиционно-строительного проекта предполагает выполнение определенного спектра мероприятий, процедур, производство комплекса работ [10–12]. Сложение этих мероприятий, процедур, работ в единое целое должно быть подчинено логике, которая базируется как на технологической последовательности, так и на экономической целесообразности. В контексте проектного управления достижение общей цели устанавливается решением взаимосвязанных локальных задач, которые обуславливают функциональное агрегирование и принципы ресурсобеспечения [13, 14].

Достижение эффективного развития застроенных территорий предполагает планирование в комплексном преобразовании и модернизации терри-

торий и застройки путем разработки концепции реинжиниринга территории и застройки, включая методы эффективного и качественного управления одноименными изменениями.

Предметом исследования является организационно связанная совокупность процессов выработки и реализации концептуальных основ реинжиниринга территории и застройки на основании сформулированных ранее авторами методологических принципов, а также предложенных практических подходов по их восстановлению и модернизации, а также факторов, зависимостей и требований, влияющих на качественное преобразования и эффективное развитие среды жизнедеятельности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведенные исследования можно представить как систему научного знания (принципов, идей), которая описывает процессы и явления, сопряженные с качественным преобразованием инженерных (технических) решений, и формирует на этой основе единый подход к реинжинирингу в строительстве.

Отправной точкой подобных трансформаций служат перемены в общественной жизни, вызванные научно-техническим прогрессом [15–18, 19]. В настоящем накопившиеся количественные изменения определяют скачкообразное преобразование в качестве общественной жизни и трактуются многими специалистами как смена технологического уклада, затрагивающая не только сферу материального производства, но и сферу услуг. В этой связи в теории реинжиниринга можно выделить две составляющие (рис. 1):

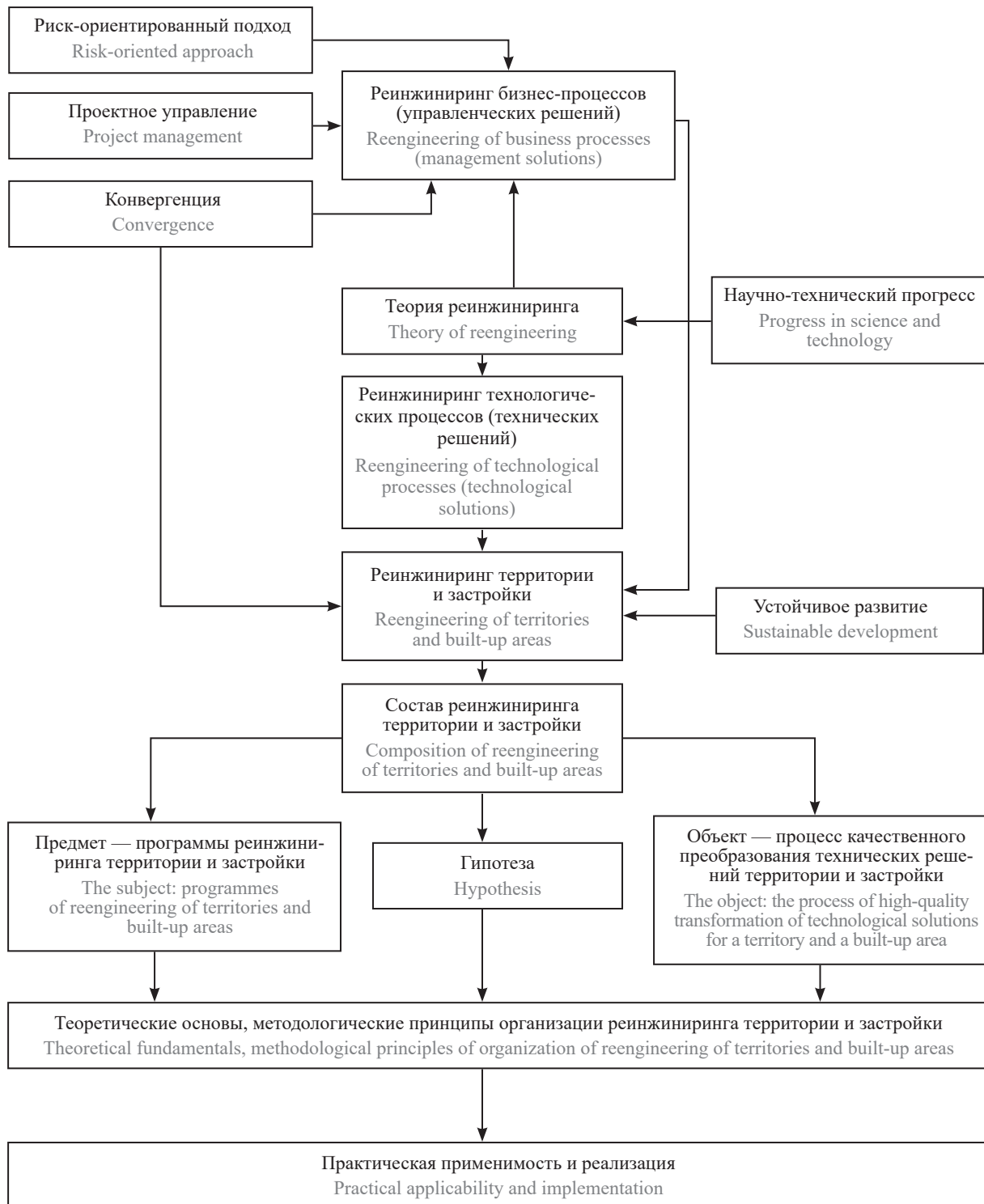


Рис. 1. Схема формирования концептуальных основ реинжиниринга

Fig. 1. The flowchart of conceptual fundamentals of reengineering

- 1) реинжиниринг технологических процессов (технических решений);
- 2) реинжиниринг бизнес-процессов (управленческих решений).

Причем на вторую составляющую, помимо чисто технического побуждения, оказывают значительное влияние и такие экономические факторы и явления, как:

- конвергенция;
- проектное управление;
- риск-ориентированный подход.

Следует отметить, что приведенные факторы равным образом имеют непосредственное отношение к научно-техническому прогрессу.

Рассматривая в качестве предметной области реинжиниринг территории и застройки, являющей-

ся частью реинжиниринга технологических процессов, целесообразно обозначить, что градостроительные решения испытывают непосредственное влияние концепции устойчивого развития и конвергенции (территориальной и социальной), а также косвенное воздействие научно-технического прогресса. Характер воздействия указанных факторов и явлений на территорию и застройку определяется его целью — формирование комфортной и безопасной среды жизнедеятельности, которая представляет собой совокупность технических решений, в том числе и градостроительных.

Преобразование существующих технических решений относительно указанной цели предполагает наличие определенного инструментария, в составе которого можно выделить:

- организационные схемы реализации реинжиниринга;
- множество комбинаций сочетания мероприятий реинжиниринга.

Организация реализации реинжиниринга может обеспечиваться хозяйственным или подрядным способом выполнения работ и мероприятий. В рамках последнего возможны две организационные схемы: генподрядная или инжиниринговая.

Состав реинжиниринга в предметной области исследования предполагает декомпозицию в первой итерации на:

- реинжиниринг территории;
- реинжиниринг застройки.

Данные составляющие обуславливают реализацию соответствующих мероприятий. Реинжиниринг территории осуществляется посредством рекультивации и реновации, а реинжиниринг застройки — реконструкции, реновации, технического перевооружения и перепрофилирования. Приведенные мероприятия допускают некоторую вариативность их комбинаций в зависимости от конкретных условий реализации, допуская при этом дополнительно включение в возможные сочетания нового строительства. Таким образом, совокупность мероприятий реинжиниринга представляет предмет исследования, а объект изучения определен авторами, как процесс качественного преобразования технических решений территорий и застройки. Как общая гипотеза, делается предположение, что формирование комфортной и безопасной среды жизнедеятельности возможно за счет модернизации существующих технических решений (в том числе и градостроительных). На этой основе должны быть разработаны теоретические основы и сформулированы методологические принципы организации реинжиниринга территории и застройки, а также в дальнейшем определены направления практической применимости и установлены подходы реализации концепции реинжиниринга.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Практическая применимость и реализация реинжиниринга в соответствии с его составом могут быть направлены на качественное преобразование [20–22]:

- территории;
- застройки;
- территории и застройки.

Как отмечалось выше, каждому направлению соответствуют мероприятия реинжиниринга, которые осуществляют преобразование одного укрупненного атрибута территории и застройки (рис. 2). Так, при реинжиниринге застройки реконструкция представляет собой изменение объемно-планировочных и конструктивных решений, реновация — восстановление ресурса, техническое преобразование — модернизацию технологии производства, перепрофилирование — изменение функционального назначения [22–25]. При реинжиниринге территории реновация — это улучшение состояния земельных участков, а рекультивация — их восстановление [26–30].

Важно отметить, что приведенная структурная и функциональная декомпозиция реинжиниринга территории и застройки на уровне практической реализации проявляется в его свойствах, таких как:

- комплексность — набор взаимосвязанных видов реинжиниринга и их мероприятий относительно качественного развития территории и застройки для формирования комфортной и безопасной среды жизнедеятельности;
- вариативность — наличие некоторого множества комбинаций сочетания мероприятий реинжиниринга;
- комплементарность — свойство, определенное взаимодополняемостью мероприятий реинжиниринга и приводящее тем самым к появлению новых характеристик у объекта реинжиниринга;
- периодичность — это повторяемость мероприятий реинжиниринга через определенные промежутки времени;
- эмерджентность или сверхаддитивный эффект — наблюдается как результат комбинации мероприятий реинжиниринга, который количественно и качественно превосходит их индивидуальную реализацию.

Указанные свойства являются основными, и они могут быть дополнены в процессе последующих исследований.

Следует подчеркнуть особую значимость состава и свойств реинжиниринга территории и застройки, которые определяют характер регулирующих воздействий в данной предметной области, а также их отличие от традиционного формата восстановления и модернизации территории и застройки (рис. 3).

Как неоднократно отмечалось, застройка территории представляет собой связанную совокуп-

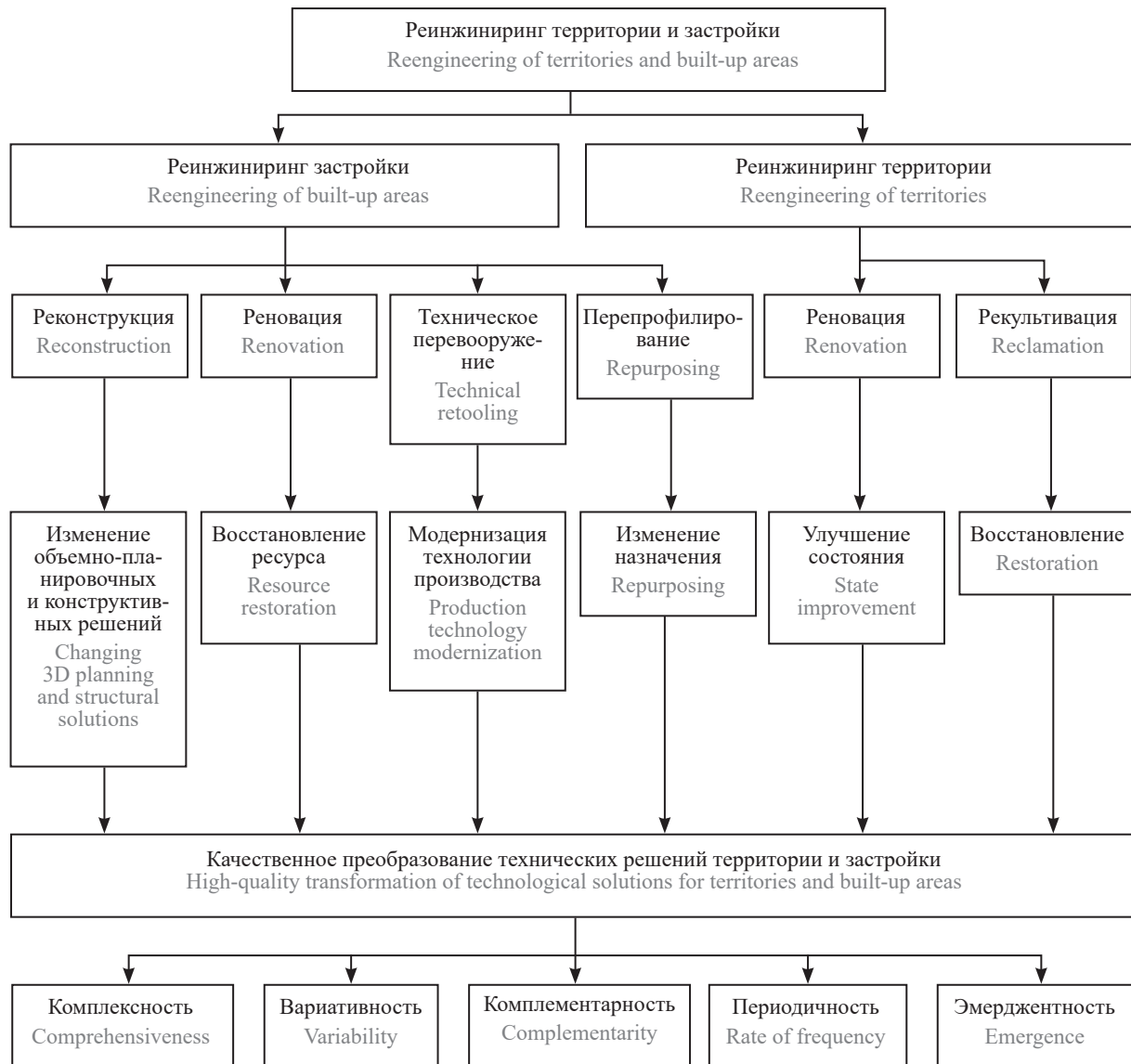


Рис. 2. Состав и свойства реинжиниринга территории и застройки

Fig. 2. Composition and properties of reengineering of territories and built-up areas

ность объектов капитального строительства (ОКС) разного функционального назначения, находящихся в неодинаковом техническом состоянии, но объединенных одним или несколькими градостроительными решениями и расположенных на одном земельном участке.

Аналогичным образом определяется ОКС как связанная совокупность технических (инженерных) решений, воплощенных в материально-вещественной форме, т.е. здания или сооружения, характеризующие их назначение, технологическую и строительную части.

Учитывая приведенное выше, можно указать на существующие принципиальные различия организации воздействий при традиционной форме и в рамках реинжиниринга. В этой связи авторы выделяют два аспекта, которые формируют конфигурацию воздействий:

- 1) акцент воздействий;
- 2) сфера приложения воздействий.

При традиционной схеме восстановления и модернизации застройки и территории воздействия акцентируются непосредственно на объекте капитального строительства, причем сфера их приложения ограничена техническими решениями в рамках либо назначения, либо технологической части, либо строительной части здания, сооружения. Однако при таком подходе недостаточно учитываются взаимосвязи ОКС в рамках застройки и их технических решений.

При реинжиниринге территории и застройки большое значение отводится акценту воздействий на связи: застройка территории — объект капитального строительства — техническое решение. В данном формате технические решения имеют приоритетное значение. Указанный подход позво-

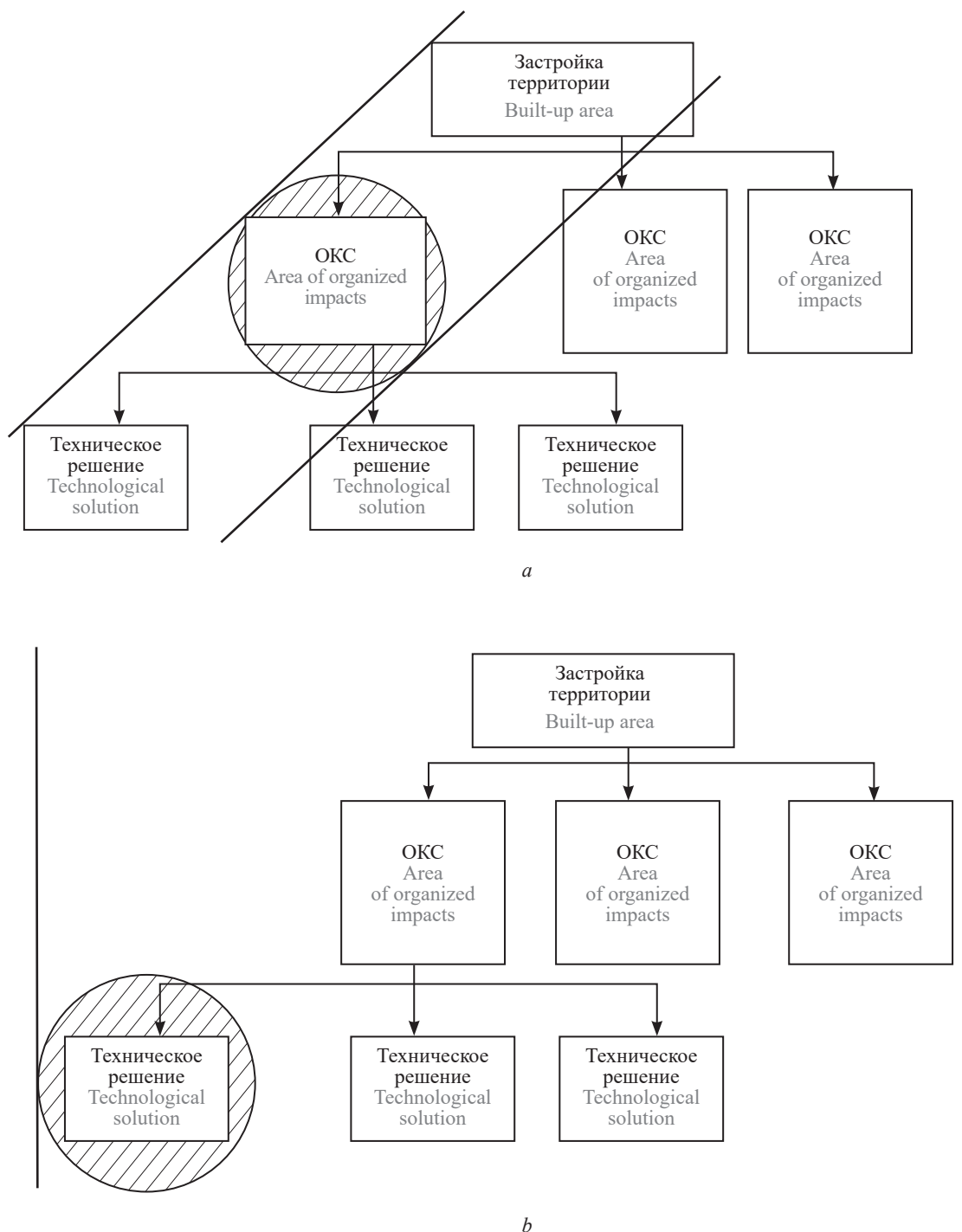


Рис. 3. Область организации воздействий: *a* — традиционная схема, акцент воздействий — ОКС; особо выделяются составляющие ОКС — назначение, строительная часть, технологическая часть; *b* — реинжиниринг, акцент воздействий — связь: застройка территории — ОКС — технические решения; особо выделяются технические решения

Fig. 3. Area of organized impacts: *a* — traditional flowchart, the focus is placed on the area of organized impacts; components of the area of organized impacts are emphasized; they are the purpose, the construction component, the technology component; *b* — reengineering, the focus is placed on the links between built-up areas, areas of organized impacts and technological solutions; technological solutions are emphasized

ляет расширить спектр объектов воздействия, что придает ему комплексный характер.

Представленные конфигурации воздействий должны быть дополнены результатами выполненных ранее исследований в отношении субъектов

и участников инвестиционно-строительной деятельности, связанных с ними объемам и интенсивностей воздействий. Интеграция данных элементов исследования должна выполняться в контексте концепции жизненного цикла (ЖЦ) застройки и терри-

тории, которая учитывает влияние на ОКС факторов различного характера:

- технических (в том числе обусловленных эксплуатацией);
- экономических;
- социальных,

а также их сочетанием в рамках градостроительного решения.

В этой связи представляет исследовательский интерес технико-экономическая основа развития территории и застройки (рис. 4), которая являет собой совокупность овеществленных технических

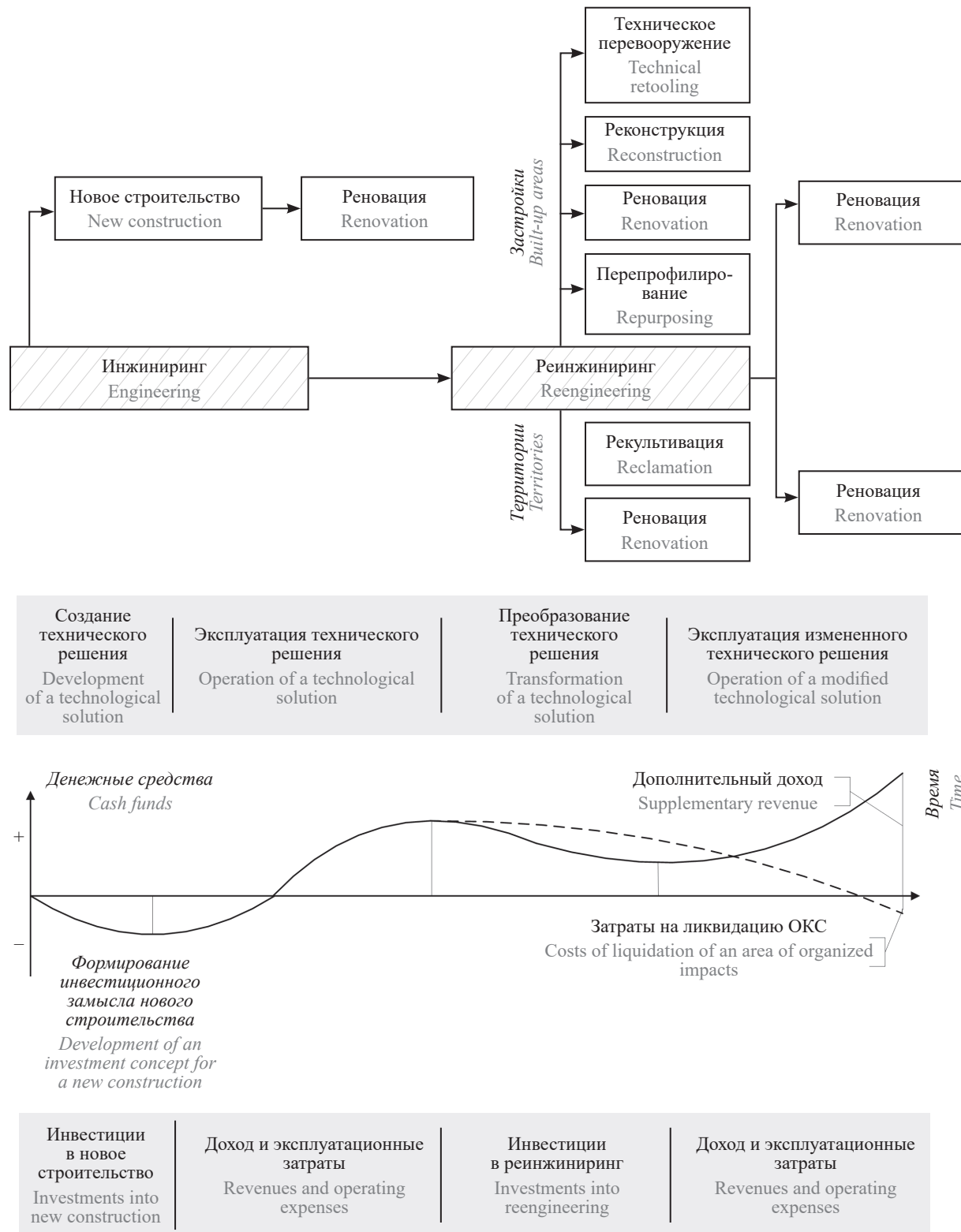


Рис. 4. Схема технико-экономического развития территории и застройки

Fig. 4. Flowchart of technological and economic development of a territory and a built-up area

решений. Каждое такое решение в своем развитии проходит определенные этапы, складывающиеся в его ЖЦ:

- 1) создание технического решения;
- 2) эксплуатация технического решения;
- 3) преобразование технического решения;
- 4) эксплуатация измененного технического решения.

Необходимо обозначить значимость выявленных закономерностей в развитии ЖЦ:

1) этапы 2 и 4 могут быть конечными, т.е. предполагать ликвидацию технического решения и утилизацию его материально-вещественной формы;

2) этапы 3 и 4 образуют циклы, количество которых зависит от внешних факторов, например, научно-технического прогресса, запросов потребителей и т.д.;

3) указанные этапы ЖЦ технического решения соотносятся в выбранной предметной области к следующим видам деятельности:

- инжиниринг — этапы создания и эксплуатации здания или сооружения, которые проявляются в строительстве и проведении ремонтных и восстановительных работ;
- реинжиниринг — этапы преобразования технического решения и его последующая эксплуатация, которые связаны с такими мероприятиями, как реконструкция, реновация, техническое перевооружение, перепрофилирование и рекультивация.

Также необходимо подчеркнуть, что проведение реновации материально-вещественной формы технического решения и его модернизации на этапе эксплуатации увеличивает продолжительность этих

этапов и поддерживает привлекательность для потребителя, что в конечном счете приводит к получению дополнительного эффекта.

Каждому этапу соответствует его экономическая проекция. В рассматриваемой предметной области выделяются следующие соответствия:

- создание технического решения предполагает инвестирование в новое строительство, которое предвосхищает формирование инвестиционного замысла;
- эксплуатация технического решения характеризуется доходом и эксплуатационными затратами, а также формированием инвестиционного замысла реинжиниринга;
- преобразования технического решения обуславливаются инвестициями в реинжиниринг;
- эксплуатация преобразованного технического решения связана с извлечением дополнительного дохода, который перекрывает эксплуатационные издержки.

Таким образом, экономический эффект от сохранения возможности эксплуатации преобразованного технического решения связан с получением дополнительной прибыли и отдалением того момента, когда необходимо нести затраты на ликвидацию ОКС.

Сформулированные выше закономерности в полной мере справедливы относительно реинжиниринга территории и застройки и представляют сформированную самостоятельную концепцию (рис. 5).

В рамках исследования можно констатировать, что концепция реинжиниринга территории и застройки



Рис. 5. Общая схема концепции реализации реинжиниринга территории и застройки

Fig. 5. The general flowchart of the implementation concept of reengineering of territories and built-up areas

ки учитывает внутренние возможности данного вида деятельности, представляющие собой антропотехническую систему, а также влияние на нее флуктуаций внешней среды. К внутренним возможностям можно отнести, например, применение новых материалов, прогрессивных технологий, организационных схем и структур. Воздействия внешней среды обуславливаются изменениями в нормативной базе инвестиционно-строительной деятельности, колебаниями рыночной конъюнктуры, достижениями научно-технического прогресса и т.д.

В структуре концепции реинжиниринга территории и застройки целесообразно выделить три укрупненные функциональные составляющие:

- 1) архитектурно-строительную;
- 2) организационно-технологическую;
- 3) финансово-экономическую.

Архитектурно-строительная составляющая связана с принятием, обоснованием и проработкой проектных решений реинжиниринга территории и застройки.

Организационно-технологическая составляющая обусловлена реализацией проекта реинжиниринга конкретных ОКС.

Финансово-экономическая составляющая предполагает определение ресурсобеспечения реинжиниринга территории и застройки, оценку его эффективности.

Мероприятия и процедуры указанных составляющих формируют организационно и технологи-

чески связанную совокупность — инвестиционную программу или проект, для эффективного достижения целей которых должно быть организовано управление.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате исследования на основе комплексного подхода к оценке внешних и внутренних факторов воздействия на градостроительные решения впервые сформулированы общие положения концепции реинжиниринга территории и застройки, включающие основные закономерности развития рассматриваемой предметной области.

Предложенные положения концепции указывают на то, что организация управления программами и проектами реинжиниринга территории и застройки обеспечивается наличием или созданием результативных структур (производственных, вспомогательных, управленческих) использования соответствующих методов управления. Данные элементы организации управления программами и проектами реинжиниринга предполагают широкое применение математических и информационных моделей, что должно способствовать повышению оперативности и адекватности принимаемых управленческих решений, и как следствие, сокращению продолжительности, стоимости реинжиниринга, достижению заданного уровня качества строительной продукции.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Киевский И.Л., Жаров Я.В. Формирование центров компетенций применения технологий информационного моделирования в строительстве // Промышленное и гражданское строительство. 2021. № 11. С. 4–10. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.11.04-10
2. 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
3. Лазарева Н.В. Кластерная модель организации инновационной деятельности на корпоративном уровне в строительстве : автореферат дис. ... канд. техн. наук. М., 2015. 22 с.
4. Батоева Э.В. Определение наиболее эффективных инноваций в сфере жилищного строительства // Baikal Research Journal. 2017. Т. 8. № 4. С. 25. DOI: 10.17150/2411-6262.2017.8(4).25
5. Shibeika A., Harty C. Diffusion of digital innovation in construction: a case study of a UK engineering firm // Construction Management and Economics. 2015. Vol. 33. Issue 5–6. Pp. 453–466. DOI: 10.1080/01446193.2015.1077982
6. Wao J., Ries R., Flood I., Kibert C. Refocusing value engineering for sustainable construction // 52nd ASC

- Annual International Conference Proceedings. 2016. DOI: 10.13140/RG.2.1.1323.6723
7. Сборщиков С.Б., Журавлев П.А. Жизненный цикл градостроительных решений: организационный аспект их реинжиниринга // Промышленное и гражданское строительство. 2021. № 4. С. 33–39. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.04.33-39.
8. Eskerod P., Huemann M., Savage G. Project Stakeholder Management — Past and Present // Project Management Journal. 2015. Vol. 46. Issue 6. Pp. 6–14. DOI: 10.1002/pmj.21555
9. Сборщиков С.Б., Журавлев П.А. Влияние социальной и территориальной конвергенции на процессы трансформации среды жизнедеятельности // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2021. № 3 (35). С. 107–115. DOI: 10.21869/2311-1518-2021-35-3-107-115
10. Опекунов В.А., Щербинин И.В. Исследование существующей системы разработки и реализации инвестиционно-строительных проектов // Вестник университета. 2018. № 9. С. 122–126. DOI: 10.26425/1816-4277-2018-9-122-126

11. Ахметгайсина К.С. Выбор формы управления реализации инвестиционно-строительного проекта // Московский экономический журнал. 2019. № 7. С. 41.
12. Опекунов В.А., Щербинин И.В. Влияние подготовки исходно-разрешительной документации на сроки реализации инвестиционно-строительных проектов // Вестник университета. 2016. № 12. С. 59–64.
13. Лазарева Н.В. Теоретические основы обеспечения устойчивого развития корпоративного уровня в строительстве на основе реализации новых организационных схем управления инновационной деятельностью // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. № 8. С. 55–60. DOI: 10.12737/article_5b6d5854e4caf7.59290917
14. Алексанин А.В., Жаров Я.В. Потенциал использования цифровых информационных моделей в рамках управления строительством // Промышленное и гражданское строительство. 2022. № 1. С. 52–55. DOI: 10.33622/0869-7019.2022.01.52-55
15. Rad K.M., Yamini O.A. The methodology of using value engineering in construction projects management // Civil Engineering Journal. 2016. Vol. 2. Issue 6. P. 262. DOI: 10.28991/cej-030986
16. Playaraja K., Eyaabal Z. Value engineering in construction // Indian Journal of Science and Technology. 2015. Vol. 8. Issue 32. DOI: 10.17485/ijst/2015/v8i32/87285
17. Шлепцова А.Ю. Структура и архитектурный облик круизных портов // Строительство: наука и образование. 2021. Т. 11. № 3. С. 41–57. DOI: 10.22227/2305-5502.2021.3.3
18. Медведев А.А. Обоснование технических решений фасадов реконструируемых промышленных зданий из условий энергосбережения и безопасности // Строительство: наука и образование. 2021. Т. 11. № 3. С. 98–119. DOI: 10.22227/2305-5502.2021.3.6
19. Graboviy P. Reconstruction and modernization of industrial parks // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 91. Issue 147. P. 08028. DOI: 10.1051/e3sconf/20199108028
20. Сборщиков С.Б., Маслова Л.А. Реинжиниринг объектов капитального строительства и реинжиниринг технологических процессов // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. № 10. С. 1321–1330. DOI: 10.22227/19970935.2019.10.1321-1330
21. Сборщиков С.Б., Журавлев П.А. Структура и состав реинжиниринга застройки // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16. № 11. С. 1508–1519. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.11.1508-1519
22. 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. Vol. 1800. Issue 1. P. 050011. DOI: 10.1063/1.4973071
23. Гайдук А.Р. Реновация промышленных объектов и адаптация индустриальных зон городов к современным условиям (на примере г. Казань) // Известия КазГАСУ. 2016. № 4 (38). С. 83–88
24. Дудурич Б.Б., Янович К.В., Блинова Н.П., Прокофьев В.Е. Инновационные решения при проведении ремонтов и реконструкции сетей водоснабжения и водоотведения объектов военной инфраструктуры // Наука и военная безопасность. 2018. № 3 (14). С. 92–98.
25. Мурад А.Х., Курбангалеев Р.А., Хромов З.А. Реконструкция жилых зданий в г. Москва // Системные технологии. 2020. № 2 (35). С. 31–35.
26. Поташова М.Д., Цитман Т.О. Комплексное развитие городских территорий. Реновация микрорайона // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2019. № 2 (28). С. 40–50.
27. Толтинская Т.П., Альземеенева Е.В., Мамаева Ю.В. Основные направления реновационного процесса в преобразовании промышленных территорий под общественные пространства // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2019. № 3 (29). С. 52–63.
28. Миролюбова Т.В., Николаев Р.С. Перспективы развития промышленных территорий крупных городов в региональной экономике // Ars Administrandi. Искусство управления. 2018. Т. 10. № 4. С. 569–597. DOI: 10.17072/2218-9173-2018-4-569-597
29. Пономарев Е.С., Ившин К.С. Проектная стратегия территориального брендинга // Известия КазГАСУ. 2019. № 4 (50). С. 100–107.
30. Aleksanin A. Organization of a logistics system for waste streams during the renovation of territories // IOP Conference Series Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 365. Issue 6. P. 062011. DOI: 10.1088/1757-899X/365/6/062011

Поступила в редакцию 19 января 2022 г.

Принята в доработанном виде 2 марта 2022 г.

Одобрена для публикации 10 марта 2022 г.

ОБ АВТОРАХ: Сергей Борисович Сборщиков — доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии, организации и управления в строительстве; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 431022, ResearcherID: Q-6433-2017; sbs@mgsu.ru;

Павел Анатольевич Журавлев — кандидат технических наук, доцент кафедры технологии, организации и управления в строительстве; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 756279; tous2004@mail.ru.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Kievskiy I.L., Zharov Y.V. Formation of competence centers for the application of BIM technologies in construction. *Industrial and Civil Engineering*. 2021; 11:4-10. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.11.04-10 (rus.).
2. 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.).
3. Lazareva N.V. *Cluster model of the organization of innovation activity at the corporate level in construction : abstract of the dissertation of the Candidate of Technical Sciences*. Moscow, 2015; 22. (rus.).
4. Batoyeva E.V. Determination of the most effective innovations in the field of housing construction. *Baikal Research Journal*. 2017; 8(4):25. DOI: 10.17150/2411-6262.2017.8(4).25 (rus.).
5. Shibeika A., Harty C. Diffusion of digital innovation in construction: a case study of a UK engineering firm. *Construction Management and Economics*. 2015; 33(5-6):453-466. DOI: 10.1080/01446193.2015.1077982
6. Wao J., Ries R., Flood I., Kibert C. Refocusing value engineering for sustainable construction. *52nd ASC Annual International Conference Proceedings*. 2016. DOI: 10.13140/RG.2.1.1323.6723
7. Sborshchikov S.B., Zhuravlev P.A. The Life Cycle of Urban Planning Solutions: The Organizational Aspect of Their Reengineering. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering]. 2021; 4:33-39. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.04.33-39 (rus.).
8. Eskerod P., Huemann M., Savage G. Project stakeholder management — past and present. *Project Management Journal*. 2015; 46(6):6-14. DOI: 10.1002/pmj.21555
9. Sborshchikov S.B., Zhuravlev P.A. Influence of social and territorial convergence on the processes of transformation of the life environment. *Biosphere Compatibility: Human, Region, Technologies*. 2021; 3(35):107-115. DOI: 10.21869/2311-1518-2021-35-3-107-115 (rus.).
10. Opekunov V., Shherbinin I.V. Research of the existing system of development and implementation of investment-construction projects. *Vestnik Universiteta*. 2018; 9:122-126. DOI: 10.26425/1816-4277-2018-9-122-126 (rus.).
11. Akhmetgaisina K.S. Selecting the form of management of the implementation of investment and construction projects. *Moscow Economic Journal*. 2019; 7:353-357. (rus.).
12. Opekunov A.A., Shcherbinin I.V. Influence of the preparation of initial permits on the terms of implementation of investment and construction projects. *Vestnik Universiteta*. 2016; 12:59-64. (rus.).
13. Lazareva N.V. Theoretical foundations of ensuring sustainable development of the corporate level in construction based on the implementation of new organizational schemes of innovation management. *Bulletin of BSTU Named After V.G. Shukhov*. 2019; 5:55-60. DOI: 10.12737/article_5b6d5854e4caf7.59290917 (rus.).
14. Aleksanin A.V., Zharov Y.V. The potential of using digital information models in the framework of construction management. *Industrial and Civil Engineering*. 2022; 1:52-55. DOI: 10.33622/0869-7019.2022.01.52-55 (rus.).
15. Rad K.M., Yamini O.A. The methodology of using value engineering in construction projects management. *Civil Engineering Journal*. 2016; 2(6):262. DOI: 10.28991/cej-030986
16. Ilayaraja K., Eqyaabal Z. Value engineering in construction. *Indian Journal of Science and Technology*. 2015; 8(32). DOI: 10.17485/ijst/2015/v8i32/87285
17. Shleptsova A.Yu. Structure and architectural appearance of cruise ports. *Construction: Science and Education*. 2021; 11(3):41-57. DOI: 10.22227/2305-5502.2021.3.3 (rus.).
18. Medvedev A.A. Justification of technical solutions for facades of reconstructed industrial buildings in terms of energy saving and safety. *Construction: Science and Education*. 2021; 11(3):98-119. DOI: 10.22227/2305-5502.2021.3.6 (rus.).
19. Graboviy P. Reconstruction and modernization of industrial parks. *E3S Web of Conferences*. 2019; 91(147):08028. DOI: 10.1051/e3sconf/20199108028
20. Sborshchikov S.B., Maslova L.A. Reengineering of capital construction objects and reengineering of technological processes. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2019; 14(10):1321-1330. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.10.1321-1330 (rus.).
21. Sborshchikov S.B., Zhuravlev P.A. The re-engineering of built-up areas: structure and composition. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2021; 16(11):1508-1519. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.11.1508-1519
22. 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; 1800(1):050011. DOI: 10.1063/1.4973071
23. Gajduk A.R. Renovation of industrial facilities and adaptation of the industrial zones of the cities to modern conditions. *Izvestiya KazGASU*. 2016; 4(38):83-88. (rus.).
24. Blinova N.P., Dudurich B.B., Prokof'ev V.E., Yanovich K.V. Innovative solutions for repairs and reconstruction of water supply and sanitation networks of military infrastructure facilities. *Science and Military Security*. 2018; 3(14):92-98. (rus.).
25. Murad A.I.H., Kurbangaleev R.A., Khromov Z.A. Reconstruction of residential buildings in Moscow. *System Technologies*. 2020; 2(35):31-35. (rus.).

26. Potashova M.D., Tsitman T.O. Complex development of urban territories. Renaissance microdistrict. *Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Sea*. 2019; 2(28):40-50. (rus.).

27. Tolpinskaya T.P., Alzemeneva E.V., Mamaeva Ju.V. The main directions of the renovative process in transforming industrial territories to public spaces. *Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Sea*. 2019; 3(29):52-63. (rus.).

28. Mirolyubova T.V., Nikolaev R.S. Development Prospects of Large Cities' Industrial Territories

in the Regional Economy. *Ars Administrandi*. 2018; 10(4):569-597. DOI: 10.17072/2218-9173-2018-4-569-597 (rus.).

29. Ponomarev E.S., Ivshin K.S. Territorial branding project strategy. *Izvestiya KazGASU*. 2019; 4(50):100-107. (rus.).

30. Aleksanin A. Organization of a logistics system for waste streams during the renovation of territories. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*. 2018; 365(6):062011. DOI: 10.1088/1757-899X/365/6/062011

Received January 19, 2022.

Adopted in revised form on March 2, 2022.

Approved for publication on March 10, 2022.

B I O N O T E S: **Sergej B. Sborshchikov** — Doctor of Economics Sciences, Professor, Head of the Department of Technology, Organization and Management in Construction; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 431022, ResearcherID: Q-6433-2017; sbs@mgsu.ru;

Pavel A. Zhuravlev — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology, Organization and Management in Construction; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 756279; tous2004@mail.

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.

ДИСКУССИОННАЯ СТАТЬЯ / DISCUSSION PAPER

УДК 658.716:65.02:69.009:346.34

DOI: 10.22227/1997-0935.2022.3.377-385

Государственные закупки в строительстве — критический обзор

Александр Сергеевич Павлов^{1,2}¹ *Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия;*² *Всероссийский научно-исследовательский институт по эксплуатации атомных электростанций (ВНИИАЭС); г. Москва, Россия*

АННОТАЦИЯ

Введение. В первой статье цикла приведены основные результаты анализа нормативно-правовых документов по организации тендеров на строительные и проектные работы в ведущих зарубежных странах. Установлено, что за рубежом с успехом применяются методы, малоизвестные в России, не включенные в отечественную практику договорных отношений. Некоторые принятые у нас установки выглядят странными для зарубежного участника торгов. Счетной палатой РФ отмечена нестабильность конкурсного законодательства.

Материалы и методы. Рассмотрена статистика инвестиций и объемов закупок в России. Изучены ключевые принципы и методы организации закупочной деятельности государственных и муниципальных заказчиков, правила договорных взаимоотношений между организациями при строительном подряде. Проведено сравнение с зарубежным законодательством в области торгов по строительству, проанализированы формулировки законодательства в указанной области.

Результаты. Выявлено, что в отличие от зарубежной практики не предусматривается развернутая подготовка к проектированию и строительству, не выделяются средства на разработку технико-экономического обоснования. Чрезмерное внимание уделено электронному документообороту, особенности строительного производства недостаточно выделяются. Не применяются такие зарекомендовавшие себя за рубежом формы, как конкурентные переговоры, зато допускаются аукционы, которые не учитывают никакие параметры, кроме цены. Цену контракта пытаются установить заранее, без учета возможностей подрядчика, и потом не менять, даже если цена занижена. Часто на конкурс не выходит ни один подрядчик, что приводит к срыву инвестиционных программ. В законодательстве о закупках практически не рассматривается фаза исполнения контракта.

Выводы. Целесообразно разработать и принять отдельный федеральный закон о закупках в области капитального строительства. Следует учесть имеющийся зарубежный опыт, возможности подрядных организаций на строительстве гражданских и промышленных зданий. Для сдерживания цен необходимо ограничить косвенные расходы и рентабельность заводов по изготовлению инвестиционного оборудования и заводов строительных материалов, как это сделано для строительных организаций.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: государственные закупки, строительные работы, монтажные работы, тендер, конкурс, торги, конкуренция

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Павлов А. С. Государственные закупки в строительстве — критический обзор // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 3. С. 377–385. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.3.377-385

Автор, ответственный за переписку: Александр Сергеевич Павлов, PavlovAS@mgsu.ru.

Public procurement in construction: a critical review

Alexander S. Pavlov^{1,2}¹ *Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU); Moscow, Russian Federation;*² *All-Russian Research Institute for Nuclear Power Plants Operation (VNIIAES); Moscow, Russian Federation*

ABSTRACT

Introduction. The first article of the series addresses the main findings of the analysis of regulatory documents governing public procurement in construction in some foreign countries. Methods, that are little known in Russia and not typical for the domestic practice of contractual relations, are successfully used abroad. On the contrary, some of the rules look strange to a foreign bidder. The Auditing Chamber of the Russian Federation emphasizes the instability of competition legislation.

Materials and methods. The authors address the Russian investment and procurement statistics and study basic principles and methods of public procurement. Basic rules governing relations between customers and contractors are analyzed. The Russian bidding legislation is compared with foreign bidding legislation systems, which are analyzed in the article.

Results. The author have found that no thorough preparations for design and construction works are made. Little financial resources are invested into feasibility studies. Electronic document management is overemphasized, and features of the

construction process are not sufficiently addressed. Competitive negotiations are not used abroad, although auctions, that do not take into account any parameters other than the price, are applied. The contact price is set in advance, without taking into account the contractor's capabilities, and later this price remains unchanged, even if its initial value is too low. In many cases no contractors join the bidding process, which causes investment programmes to fail. The procurement legislation hardly addresses the contract implementation phase.

Conclusions. It is advisable to draft and pass an independent federal law on public procurement in construction. At the same time, it is necessary to take into account the international experience and the capabilities of contractors operating in civil and industrial engineering. There is a need to limit indirect costs and profit margins of equipment and construction material producers in the same way as it is done in respect of construction companies within the framework of price control measures.

KEYWORDS: public procurement, construction works, erection works, bidding, competition

FOR CITATION: Pavlov A.S. Public procurement in construction: a critical review. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2022; 17(3):377-385. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.3.377-385 (rus.).

Corresponding author: Alexander S. Pavlov, PavlovAS@mgsu.ru.

ВВЕДЕНИЕ

В первой статье цикла¹ приведены основные результаты анализа нормативно-правовых документов по организации тендеров на строительные и проектные работы в ведущих зарубежных странах.

Было изучено законодательство США, Китая, Японии, Германии, Франции, Великобритании, Новой Зеландии, руководящие документы международных организаций, а также труды отечественных и зарубежных авторов. Научные исследования посвящены разнообразным подходам к выбору подрядчиков [1–6], методам обработки данных и эффективности цифровой трансформации [7–12]. Среди публикаций отечественных авторов встречаются обзоры и критические анализы тендерного законодательства, однако мало рассматриваются особенности тендеров в сфере строительства [13–20].

Установлено, что за рубежом с успехом применяются методы, почти неизвестные в России и не включенные в отечественную практику договорных отношений. Напротив, некоторые принятые у нас установки выглядят странными для зарубежного участника торгов. Отдельные проблемы тендерной политики государства в области строительства остаются неясными из-за недостаточного разъяснения в нормативно-правовых документах.

В связи с этим необходимо уточнить основные положения отечественного тендерного законодательства в части проектирования, возведения и реконструкции объектов строительства. В первую очередь должны быть рассмотрены особенности размещения государственных заказов, а также заказов, связанных с заказчиками, в той или иной степени контролируемые государством.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Ключевые правила договорных взаимоотношений между коммерческими организациями описаны в Гражданском кодексе РФ (ГК РФ)². В нем содержатся общие правила заключения договора (ст. 432–449), включая проведение торгов в виде аукционов и конкурсов (ст. 447–449). Порядок заключения контрактов для государственных и муниципальных нужд оговорен особо (ст. 525–534).

Там же установлены общие правила о подряде и, в частности, о строительном подряде (ст. 740–762). Однако в этих статьях не указываются особенности заключения договоров строительного подряда. Таким образом, с точки зрения общего гражданского законодательства, договоры на строительные работы заключаются на общих основаниях.

Согласно российскому законодательству, большая часть финансирования должна проходить через специально организованную систему закупок. При этом бюджетные средства распределяются в соответствии с Федеральным законом № 44-ФЗ³, а средства контролируемых государством юридических лиц — в соответствии с Федеральным законом № 223-ФЗ⁴. В этом контексте к указанным юридическим лицам относятся, говоря упрощенно:

- государственные корпорации и компании, публично-правовые компании;
- бюджетные учреждения, государственные и муниципальные унитарные предприятия;
- хозяйственные общества, в капитале которых доля государства составляет более 50 %, а также их дочерние и «внучатые» общества с такой же контролируемой долей;
- субъекты естественных монополий, включая поставщиков коммунальных услуг.

В целом даже разработчики упомянутых законов признают, что закупочные процедуры слабо

¹ Гусакова Е.А., Павлов А.С. Государственные закупки в строительстве — зарубежная практика // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 2. С. 242–252. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.2.242-252.

² Гражданский кодекс Российской Федерации. Часть вторая : Федеральный закон от 26.01.1996 № 14-ФЗ.

³ О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд : Федеральный закон от 05.04.2013 № 44-ФЗ.

⁴ О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц : Федеральный закон от 18.07.2011 № 223-ФЗ.

вливают на результаты функционирования контрактной системы, в результате небольшая часть крупнейших поставщиков доминирует на рынках, что девальвирует состязательный отбор и добросовестную конкуренцию [21, 22].

Как отмечено в документах Счетной палаты РФ, особенностью законодательства в сфере закупок является его нестабильность. За 7 лет действия закона № 44-ФЗ в него внесено 86 добавлений и поправок, каждое из которых содержало по десятку и больше изменений отдельных статей. Было принято более 300 постановлений Правительства, из которых свыше 100 действуют и ныне⁵. Закон № 223-ФЗ — рамочный, формулирует только основные требования к положениям о закупке, которые должны разработать и утвердить упомянутые юридические лица, включая региональные и муниципальные предприятия. В него до конца 2021 г. также внесено 39 изменений. В настоящее время действует 87 тыс. таких положений, включая правовые акты крупнейших российских корпораций «Росатом», «Роскосмос», «РЖД» и др.

Изменения в формулировках законов часто касаются особенностей строительных контрактов. Так, в первой редакции закона № 44-ФЗ термин «строительство» встречался 24 раза в восьми пунктах, сейчас — свыше 150 раз, не считая многочисленных упоминаний в подзаконных актах. В первой редакции закона № 223-ФЗ этот термин вообще не встречался, сейчас он отмечен 11 раз, не считая упоминаний в соответствующих положениях. Такой «лингвистический» анализ говорит о том, что законодатели, вначале не придававшие значения особенностям строительства, были вынуждены раз за разом уточнять эти положения. И сейчас практически во всех нормативных документах о закупках выделены случаи закупки недвижимости, строительных и ремонтных работ, реконструкции и сноса.

Часто такие уточнения идут по пути ужесточения требований к подрядчикам. Так, в постановлении Правительства России, касающемся дополнительных требований к участникам закупок⁶, 11 из 19 пунктов посвящены проектно-изыскательским и строительно-монтажным работам, реконструкции, реставрации, ремонту и сносу зданий. Напротив, строительные работы в 2020 г. исключены⁷ из пе-

речня товаров, работ и услуг, по которым заказчик обязан проводить аукцион, а не конкурс⁸.

В связи с этим возникает вопрос об усилении отраслевой направленности законодательства, что позволит учесть особенности строительства. Не касаясь чисто юридических проблем, постараемся критически рассмотреть основные положения федерального законодательства применительно к отраслевым особенностям строительства.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Начнем с принципов контрактной системы, указанных в ст. 6–12 закона № 44-ФЗ. Провозглашен принцип единства контрактной системы в сфере закупок (ст. 11). А нужен ли он для всех товаров, работ и услуг? Например, нужен ли единый подход к покупке цистерны нефти и строительству космодрома? Формально закупки, цена которых превышает три млн рублей, должны быть организованы одинаково — по электронному конкурсу. Но стоит сравнить объем необходимой подготовки к участию в таких конкурсах, как станет понятным коренное различие предметов и способов торгов, состава контрактов и схем оплаты, участия заказчика и инженерного обеспечения контракта. На взгляд автора, ничего общего.

Инвестиции — основной финансовый двигатель строительства. В 2020 г. 96 % прямых инвестиций в основной капитал (19 275 млрд руб.) было израсходовано на возведение и приобретение зданий и сооружений, машин и оборудования, прочие затраты, связанные со строительством⁹, из них в строительство и приобретение зданий и сооружений было вложено 10 372 млрд руб. Сходные значения в расчете на год показывает объем строительно-монтажных работ в России, который составил 9497,8 млрд руб.¹⁰

Финансирование инвестиций в России осуществляется из разнообразных источников. В 2020 г. из инвестиций в основной капитал (15 218 млрд руб. по объектам среднего и крупного предпринимательства) 57,2 % составляли собственные средства предприятий, 14,1 % — кредиты и другие заемные средства (возвращаемые также из собственных средств), 18,9 % — средства бюджетов и государственных

⁵ Отчет о результатах экспертно-аналитического мероприятия «Мониторинг развития системы государственных и корпоративных закупок в Российской Федерации за 2020 год» : утв. Коллегией Счетной палаты РФ 22.06.2021.

⁶ Дополнительные требования к участникам закупки отдельных видов товаров, работ, услуг, закупки которых осуществляются путем проведения конкурсов с ограниченным участием, двухэтапных конкурсов, закрытых конкурсов с ограниченным участием, закрытых двухэтапных конкурсов или аукционов : утв. постановлением Правительства РФ от 04.02.2015 № 99.

⁷ О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам осуществления закупок в сфере строительства и признании утратившим силу распоряжения Правительства Российской Федерации от 13 мая 2016 г. № 890-р : Постановление Правительства РФ от 25.06.2020 № 921.

⁸ О перечне товаров, работ, услуг, в случае осуществления закупок которых заказчик обязан проводить аукцион в электронной форме (электронный аукцион) : утв. распоряжением Правительства РФ от 21.03.2016 № 471-р.

⁹ Россия в цифрах 2021 : краткий статистический сборник. Росстат, 2021.

¹⁰ Строительный комплекс Российской Федерации в 2020 году. Росстат, 2021.

внебюджетных фондов, 2,5 % — средства населения на доленое строительство. Средства от эмиссии акций, иностранные инвестиции и другие источники составили, как и в предыдущие годы, незначительную долю. Отметим, что еще около 4900 млрд руб. оцениваются статистикой как инвестиции субъектов малого предпринимательства, микропредприятий, а также включают объем строительных работ, не наблюдаемый прямыми статистическими методами (строительство индивидуальных и дачных домов, благоустройство собственного жилья и т.п.).

Проектная и строительная деятельность публично-правовой компании «Единый заказчик в сфере строительства», в которой сосредоточены бюджетные инвестиционные заказы ряда ведомств, регулируется законом № 44-ФЗ. Исполнение поставок по государственному оборонному заказу регулируется специальным федеральным законом¹¹, этот объем можно условно оценить по затратам из федерального бюджета — 3171 млрд руб.²

Объем закупок в рамках закона 44-ФЗ в 2020 г. составил 8954 млрд руб. (3 419 154 заключенных контрактов), а закона 223-ФЗ — 20 175 млрд руб. (1 510 398 заключенных договоров)¹². Общий объем заключаемых в стране хозяйственных договоров статистикой не наблюдается, однако известен общий оборот организаций, включающий стоимость реализованных товаров, работ и услуг — 207 562 млрд руб. в 2020 г. Известен также схожий объем валового внутреннего продукта, включая промежуточное потребление, — 194 839 млрд руб. Отсюда следует, что специальное контрактное законодательство регулирует не менее 15 % хозяйственной деятельности предприятий страны. Остальная часть договорных отношений регулируется только ГК РФ².

В 2014–2020 гг. объем закупок по направлению «Сооружения и строительные работы» составил 21,9 % всех государственных и корпоративных закупок⁵, т.е. примерно 6380 млрд руб. в расчете на 2020 г. Отмечено, что отраслевая структура объема закупок весьма устойчива во времени. Из этого следует, что доля регулируемых специальным законодательством закупок в области строительства составляет примерно треть общих инвестиций в строительные объекты, что вдвое выше, чем в среднем по отраслям экономики страны. Единичная стоимость договора на строительство также выше средней стоимости контракта по закону № 44-ФЗ (2,62 млн руб.) и по закону № 223-ФЗ (13,4 млн руб.).

В закупках по закону № 44-ФЗ участвует ежегодно 100,8 тыс. заказчиков и 406,7 тыс. поставщиков, в рамках закона № 223-ФЗ — 26 тыс. заказчиков и 309,7 тыс. поставщиков. Однако при этом всего

четверть контрактов заключается на реально конкурсной основе, в остальных случаях были применены различные оговорки, позволяющие заключить контракт с единственным поставщиком; например, не редки случаи, когда на конкурс допущена только одна заявка⁵.

Рассмотрим принцип обеспечения конкуренции (ст. 8 указанного закона), нарушаемый на практике в 74 % случаев (см. выше). Постоянно идут споры: можно ли объединять здание и оборудование в нем в один лот? С инженерной точки зрения — можно и нужно, их параметры часто неразделимы. С формальной точки зрения — это часто нарушение закона. Так, Федеральная антимонопольная служба (ФАС) считает, что мебель и оргтехника в новых больницах, учреждениях культуры, офисах должна быть выделена в отдельные лоты¹³.

Вызывает вопросы также провозглашенный в ст. 9 принцип профессионализма заказчика. Квалифицированный специалист, согласно этому принципу, должен иметь знания и навыки только в сфере закупок, об этом говорит и сложившаяся практика профессиональной переподготовки и повышения квалификации. Однако представляется более важным умение заказчика правильно оценить предложения участников торгов, выявить ошибки и предотвратить возможные проблемы на дальнейших этапах.

В современной редакции закона участником закупки является любое юридическое лицо (кроме офшорных компаний) или индивидуальный предприниматель (п. 4 ч. 1 ст. 3 закона 44-ФЗ); тем самым разница в статусе технического заказчика, генерального подрядчика, ЕРС-подрядчика, ЕРСМ-подрядчика не учитывается. Между тем эти и аналогичные вопросы могли бы быть решены с учетом принятых в строительстве разнообразных организационных схем с участием инвестора, технического заказчика, генерального подрядчика, субподрядчиков и поставщиков. Кроме того, могли бы быть привлечены рекомендации саморегулируемых организаций, о роли которых в законе ни слова.

Подавляющая часть текста закона № 44-ФЗ посвящена формальной стороне контрактной системы: организации электронного документооборота, подаче заявок, проведению электронных процедур, регистрации и ведению реестров. Надо ли в федеральном законе указывать, за сколько минут оператор площадки должен направлять заказчику протоколы и фрагменты заявок? Тем самым закон превращен в инструкцию по документообороту, а отсюда и его частые изменения. Уже практически все операции переведены в электронную форму, но срок контрактации по открытым конкурсам не уменьшился,

¹¹ О государственном оборонном заказе : Федеральный закон от 29.12.2012 № 275-ФЗ.

¹² Единая информационная система в сфере закупок. URL: <https://zakupki.gov.ru>

¹³ Решение Курганского УФАС от 10.01.2017 № 05-02/262-16.

а увеличился и составил 47 дней от объявления конкурса до подписания контракта⁵. При этом цифровизация системы закупок никоим образом не обеспечила борьбу с коррупцией: согласно опросам НИУ ВШЭ, средний размер «отката» в госзакупках составляет 22,5 %¹⁴!

Задумаемся, так ли важна электронная форма закупки, если речь идет о миллиардных затратах государства? За рубежом практикуется закрытое обсуждение параметров крупных тендерных предложений с участием представителей заказчика и потенциального подрядчика. У нас это прямо запрещено (ст. 46 закона 44-ФЗ), а комиссия создается только со стороны заказчика.

Подчас создается впечатление, что информатизация проводится ради информатизации. Например, создана единая информационная система в сфере закупок. Но у строителей уже есть ФГИС¹⁵ территориального планирования, ГИС¹⁶ обеспечения градостроительной деятельности, единая информационная система жилищного строительства, единый государственный реестр недвижимости (пространственных данных), ФГИС ведения единого государственного реестра заключений экспертизы, ФГИС ценообразования в строительстве, а также информационные системы, обеспечивающие проведение общественных обсуждений. Правильно ли будет добавлять к ним еще одну? Может быть, лучше обеспечить взаимодействие этих систем?

По закону необходимо общественное обсуждение крупных закупок (ст. 20). Вместе с тем для застройки городов уже предусмотрено общественное обсуждение¹⁷. Нужно ли «плодить сущности»?

Напротив, смысловая часть процессов остается часто не проработанной. Так, от извещения о закупке до даты окончания подачи заявок закон отводит от 15 дней, а при объеме строительства до двух млрд руб. — от 7 дней (пп. 1 и 2 ч. 3 ст. 42 закона

44-ФЗ). Таким образом, за 1–2 недели строительная организация должна проверить проектную документацию, найти ошибки в чертежах и сметах и сообщить о них, определить сумму собственных расходов на строительство, подобрать субподрядчиков, оформить и подать заявку!

Только с 2017 г. законом разрешено объединять проектно-изыскательские и строительно-монтажные работы (ч. 16.1 ст. 34 закона 44-ФЗ), хотя это до сих пор встречает непонимание в судах¹⁸. В свою очередь, контракт жизненного цикла предусматривает последующее обслуживание созданного объекта (п. 8.2 ч. 1 ст. 3 закона 44-ФЗ), однако в подзаконном акте случаи таких контрактов трактуются по-своему¹⁹.

Генеральные подрядчики обязаны выполнять не менее 25 % общестроительных и специальных строительных работ своими силами, без привлечения субподрядчиков (ст. 110.2 закона 44-ФЗ)²⁰. Понятно, что это было сделано для того, чтобы исключить «бумажных» участников. Но за рубежом довольно часто встречаются ЕРС- и ЕРСМ-подрядчики, не выполняющие никаких работ собственными силами и успешно реализующие крупные строительные заказы.

Типовые условия государственного контракта, разработанные Минстроем РФ²¹, недостаточно полно учитывают обязанности заказчика и подрядчика при строительстве. Так, у заказчика упомянута только проверка и оплата работ. Ни слова о своевременном предоставлении заказчиком рабочей документации, строительной площадки, технических условий, разрешений и т.д., нет и финансовых санкций по этому поводу.

При подаче заявки участник торгов не может предлагать свои формулировки контракта, хотя это мировая практика. Законодательством предусмотрено только составление протокола разногласий^{2, 3}. Более того, трудно исправить даже технические ошибки.

¹⁴ Эксперты ВШЭ оценили объем взяток при госзакупках в треть доходной части бюджета России. Коммерсантъ, 20.12.2021.

¹⁵ ФГИС — федеральная государственная информационная система.

¹⁶ ГИС — государственная информационная система.

¹⁷ Градостроительный кодекс Российской Федерации : Федеральный закон от 29.12.2004 № 190-ФЗ.

¹⁸ Обзор судебной практики применения законодательства Российской Федерации о контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд : утв. Президиумом Верховного Суда РФ 28.06.2017.

¹⁹ Об определении случаев заключения контракта жизненного цикла : Постановление Правительства РФ от 28.11.2013 № 1087.

²⁰ Об установлении видов и объемов работ по строительству, реконструкции объектов капитального строительства, которые подрядчик обязан выполнить самостоятельно без привлечения других лиц к исполнению своих обязательств по государственному и (или) муниципальному контрактам, и о внесении изменений в Правила определения размера штрафа, начисляемого в случае ненадлежащего исполнения заказчиком, поставщиком (подрядчиком, исполнителем) обязательств, предусмотренных контрактом (за исключением просрочки исполнения обязательств заказчиком, поставщиком (подрядчиком, исполнителем), и размера пени, начисляемой за каждый день просрочки исполнения поставщиком (подрядчиком, исполнителем) обязательства, предусмотренного контрактом : Постановление Правительства РФ от 15.05.2017 № 570.

²¹ Об утверждении Типовых условий контрактов на выполнение работ по строительству (реконструкции) объектов капитального строительства и информационной карты типовых условий контракта : утв. приказом Минстроя РФ от 14.01.2020 № 9/пр.

Впрочем, в ГК РФ также имеется ряд недочетов, проявляющихся в строительной практике. В ст. 743 второй части ГК РФ²² отмечено, что подрядчик обязан осуществить строительство в соответствии со сметой, определяющей цену работ. Однако смета в процессе договорной кампании не остается постоянной: смета, составленная проектировщиком, отличается от сметы контракта, составленной по результатам торгов. Какая смета имеется в виду?

А в ст. 744 ГК РФ²³ зафиксировано, что заказчик вправе вносить изменения в техническую документацию, если дополнительные работы не превышают 10 % стоимости, и только при превышении указанного предела составляется дополнительная смета. К счастью, ни один заказчик не понимает это положение как возможность бесплатного увеличения объема работ на 10 %. Точно также подрядчики не понимают буквально положение той же 744 статьи о том, что пересмотр сметы производится при превышении стоимости не менее чем на 10 %.

Закон не разъясняет, можно ли включать резерв средств на непредвиденные работы и затраты в цену контракта, и не оговаривает порядок его расходования. Практика показывает, что передача резерва подрядчику без подтверждения дополнительных работ не только неразумна, но и чревата обвинениями в неправомерном использовании бюджетных средств и в неосновательном обогащении.

Что касается стоимостной оценки проекта, эта тема заслуживает отдельного рассмотрения. Укажем только, что в нормативных документах смешиваются понятия предполагаемой и предельной стоимости строительства²⁴, максимальной (которая на самом деле минимальна) и начальной цены контракта.

Несмотря на то, что стоимостной критерий при заявлении цены закупки, наскоро «слепленной» участником, ненадежен, этому критерию присваивается не менее 60 % балльной оценки, а критерии качества строительных объектов вообще не обсуждаются²⁵.

При составлении плана закупок для контролируемых государством юридических лиц на несколько лет вперед практически невозможно предугадать стоимость работ, поскольку инвестиционный цикл даже не самых больших строительных объектов за-

нимает несколько лет, а стоимость может быть определена только после этапа проектирования. Корректировка плана закупок проводится при изменении стоимости на 10 % и более²⁴. Получается, что либо план закупок должен быть опубликован после проведения проектно-изыскательских работ (т.е. инвестиционный цикл растягивается еще на 1–2 года), либо цена в плане закупок будет опубликована с большой погрешностью¹⁷.

В отличие от зарубежной практики, затраты на исполнение государственных контрактов не предусматривают развернутую подготовку к проектированию и строительству. В смету не вносятся затраты на эскизное проектирование, выбор вариантов размещения площадки. Обоснование инвестиций (ОБИН) включается только для контрактов, предусматривающих проектирование, строительство и ввод вместе («под ключ»), а также для особо опасных объектов. При этом стоимость строительства по ОБИН не должна превышать стоимость, указанную в решении об осуществлении капитальных вложений²⁵; таким образом, стоимость должна быть сразу и окончательно определена тогда, когда ни проекта, ни ОБИН еще нет!

Тем не менее, при заключении контракта на строительство сейчас необходимо указывать твердую цену. И только для комплексных контрактов (включающих проектирование, строительство и ввод в эксплуатацию) делается исключение: можно указывать формулу цены и максимальное значение цены контракта²⁶.

И наконец: «подрядчик не вправе требовать увеличения цены контракта, ... в том числе в случае, когда в момент заключения контракта исключалась возможность предусмотреть полный объем подлежащих выполнению работ или необходимых для этого расходов»²⁵! В сочетании с короткими сроками подачи заявок это — прямой путь к развалу стройки, что часто и происходит.

Так, установлено, что в большинстве случаев законодательство априори встает на сторону заказчика, поэтому заказчик и подрядчик становятся не сотрудниками, а «врагами». В то же время ФАС, несмотря на собственные положения²⁷, в ряде случаев признает необоснованными жалобы на размеще-

²² Положение о проведении публичного технологического и ценового аудита крупных инвестиционных проектов с государственным участием : утв. Постановлением Правительства РФ от 30.04.2013 № 382.

²³ Правила оценки заявок, окончательных предложений участников закупки товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд : утв. Постановлением Правительства РФ от 28.11.2013 № 1085.

²⁴ Об утверждении Правил формирования плана закупок товаров (работ, услуг) и требований к форме такого плана : Постановление Правительства РФ от 17.09.2012 № 932.

²⁵ Правила заключения контрактов, предметом которых является одновременное выполнение работ по проектированию, строительству и вводу в эксплуатацию объектов капитального строительства : утв. Постановлением Правительства РФ от 12.05.2017 № 563.

²⁶ Об установлении случаев, в которых при заключении контракта указываются формула цены и максимальное значение цены контракта : Постановление Правительства РФ от 13.01.2014 № 19.

²⁷ Разъяснение законодательства о контрактной системе: письмо ФАС от 30.06.2014 № АЦ/26237/14.

ние условий тендера в виде архивов, не копируемых и нечитаемых файлов, в которых невозможен поиск информации, а это — прямая вина заказчика.

При этом, как показала инфляция 2021 г., контролирующие органы никак не ограничивают «аппетиты» изготовителей материалов, конструкций и оборудования, которые значительно быстрее разгоняют спираль инфляции, чем подрядные организации. Удорожание материальных ресурсов правительство готово компенсировать дополнительными денежными вливаниями вместо того, чтобы лимитировать уровень косвенных расходов, как это делается для строительных и монтажных работ.

Понятно, что прямой контроль цен на материальные ресурсы обычно ведет к развитию черного рынка и коррупции. Но довольно удачная схема установления расчетной прибыли используется при государственном регулировании цен на продукцию оборонного заказа²⁸. При этом плановая прибыль устанавливается в размере 1 % «привнесенных» затрат на покупную продукцию и 20 % собственных (остальных) затрат. Аналогичная схема (1 % прибыли на оплату купленных изделий и 20 % остальных

затрат) установлена при определении количества товаров исходя из цены контракта²⁹.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целесообразно разработать и принять отдельный федеральный закон о закупках в области капитального строительства. Следует учесть имеющийся зарубежный опыт, возможности подрядных организаций на строительстве гражданских и промышленных зданий. Для сдерживания цен необходимо ограничить косвенные расходы и рентабельность заводов по изготовлению инвестиционного оборудования и заводов строительных материалов, как это сделано для строительных организаций.

В современной ситуации научная общественность не обладает правом законодательной инициативы, поэтому можно только предложить концептуальные положения по изменению принципов и методов конкурентных отношений. Предлагаемая концепция нового подхода к законодательному регулированию организации и проведению конкурсов для строительных объектов и работ будет изложена в заключительной статье цикла.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Boadu E.F., Sunindijo R.Y., Wang C.C., Frimpong S. Client-led promotion of health and safety through the procurement process on public construction projects in developing countries // *Safety Science*. 2022. Vol. 147. Issue 1. P. 105605. DOI: 10.1016/j.ssci.2021.105605
2. Martin L., Benson L. Relationship quality in construction projects: A subcontractor perspective of principal contractor relationships // *International Journal of Project Management*. 2021. Vol. 39. Issue 6. Pp. 633–645. DOI: 10.1016/j.ijproman.2021.05.002
3. Cheaitou A., Larbi R., Housani B.A. Decision making framework for tender evaluation and contractor selection in public organizations with risk considerations // *Socio-Economic Planning Sciences*. 2019. Vol. 68. P. 100620. DOI: 10.1016/j.seps.2018.02.007
4. Loosemore M., Alkilani S.Z., Murphy R. The institutional drivers of social procurement implementation in Australian construction projects // *International Journal of Project Management*. 2021. Vol. 39. Issue 7. Pp. 750–761. DOI: 10.1016/j.ijproman.2021.07.002
5. Gallego J., Rivero G., Martínez J. Preventing rather than punishing: An early warning model of malfeasance in public procurement // *International Journal of Forecasting*. 2020. Vol. 37. Issue 1. Pp. 360–377. DOI: 10.1016/j.ijforecast.2020.06.006
6. Khoso A.R., Yusof A.M., Chen Z.-S., Skibniewski M.J., Chin K.S., Khahro S.H. et al. Comprehensive analysis of state-of-the-art contractor selection models in construction environment-A critical review and future call // *Socio-Economic Planning Sciences*. 2021. Vol. 79. P. 101137. DOI: 10.1016/j.seps.2021.101137
7. Maréchal F., Morand P.H. Are social and environmental clauses a tool for favoritism? Analysis of French public procurement contracts // *European Journal of Political Economy*. 2021. P. 102140. DOI: 10.1016/j.ejpoleco.2021.102140
8. Li J., Kassem M. Applications of distributed ledger technology (DLT) and Blockchain-enabled smart contracts in construction // *Automation in Construction*. 2021. Vol. 132. Issue 1. P. 103955. DOI: 10.1016/j.autcon.2021.103955
9. McNamara A., Sepasgozar S.M. Intelligent contract adoption in the construction industry: Concept development // *Automation in Construction*. 2021. Vol. 122. P. 103452. DOI: 10.1016/j.autcon.2020.103452
10. Yevu S.K., Yu A.T.W., Darko A. Digitalization of construction supply chain and procurement in the built environment: Emerging technologies and

²⁸ Положение о государственном регулировании цен на продукцию, поставляемую по государственному оборонному заказу : утв. Постановлением Правительства РФ от 02.12.2017 № 1465.

²⁹ Методика сокращения количества товаров, объемов работ или услуг при уменьшении цены контракта : утв. Постановлением Правительства РФ от 28.11.2013 № 1090.

opportunities for sustainable processes // *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 322. Issue 6. P. 129093. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.129093

11. Owusu E.K., Chan A.P.C., Effah E.A. Toward a cleaner project procurement: Evaluation of construction projects' vulnerability to corruption in developing countries // *Journal of Cleaner Production*. 2019. Vol. 216. Pp. 394–407. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.01.124

12. García Rodríguez M.J., Rodríguez Montequín V., Ortega-Fernández F., Ortega F., Balsera J.V. Spanish Public Procurement: legislation, open data source and extracting valuable information of procurement announcements // *Procedia Computer Science*. 2019. Vol. 164. Pp. 441–448. DOI: 10.1016/j.procs.2019.12.204

13. Юзвович Л.И., Исакова Н.Ю., Истомина Ю.В. и др. Система государственных закупок: теоретический и практический аспекты: монография. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2019. 231 с.

14. Кауфова Ф.Б. Проблемы контрактной системы государственных закупок и пути совершенствования законодательства // *Молодой ученый*. 2017. № 50 (184). С. 296–298.

15. Береженцева И.О., Березин А.О. Международный опыт проведения подрядных торгов в строительстве // *Молодой ученый*. 2018. № 48 (234). С. 370–372.

16. Парфильева Е.Н., Нуруллина А.И. Анализ контрактной системы в сфере государственных за-

купок за рубежом // *Вопросы экономики и управления*. 2018. № 1 (12). С. 14–17.

17. Семенова Ф.З., Борлакова М.Б., Боташева Л.С. Зарубежный опыт организации государственных закупок // *Фундаментальные исследования*. 2016. № 6–2. С. 465–469.

18. Жигит А.А., Хамидуллина К.И., Лашкин С.А. Комплексная оценка проведения электронного аукциона при проведении государственных закупок услуг (на примере строительного подряда) // *Russian economic bulletin*. 2020. Т. 3. № 1. С. 68–74.

19. Камалян А.М. Правовое регулирование государственных закупок в Европейском Союзе : автореф. дис. канд. юр. наук. М., 2018.

20. Федорова И.Ю. Пития Ю.С. Организация системы государственных закупок в Японии и возможности опыта их применения в России // *МИР (Модернизация. Инновации. Развитие)*. 2021. Т. 12. № 1. С. 34–55. DOI: 10.18184/2079-4665.2021.12.1.34-55

21. Анчишкина О.В. Контрактная система Российской Федерации: особенности функционирования сферы государственных и муниципальных закупок, закупок отдельных видов юридических лиц // *Экономическая теория, анализ, практика*. 2017. № 4. С. 53–88.

22. Смотрицкая И.И. Контрактная система закупок в контексте российских реформ // *Вестник Института экономики Российской академии наук*. 2019. № 6. С. 9–25. DOI: 10.24411/2073-6487-2019-10067

Поступила в редакцию 25 января 2022 г.

Принята в доработанном виде 28 февраля 2022 г.

Одобрена для публикации 10 марта 2022 г.

Об авторе: **Александр Сергеевич Павлов** — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры строительства объектов тепловой и атомной энергетики; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; заместитель руководителя Департамента экспертизы и оптимизации проектных решений; **Всероссийский научно-исследовательский институт по эксплуатации атомных электростанций (ВНИИАЭС)**; 109507, г. Москва, ул. Ферганская, д. 25; ПИНЦ ID: 79850, Scopus: 57212719485, ResearcherID: AАН-4585-2021, ORCID: 0000-0001-6638-5554; PavlovAS@mgsu.ru.

REFERENCES

1. Boadu E.F., Sunindijo R.Y., Wang C.C., Frimpong S. Client-led promotion of health and safety through the procurement process on public construction projects in developing countries. *Safety Science*. 2022; 147(1):105605. DOI: 10.1016/j.ssci.2021.105605

2. Martin L., Benson L. Relationship quality in construction projects: A subcontractor perspective of principal contractor relationships. *International Journal of Project Management*. 2021; 39(6):633-645. DOI: 10.1016/j.ijproman.2021.05.002

3. Cheaitou A., Larbi R., Housani B.A. Decision making framework for tender evaluation and contractor selection in public organizations with risk consi-

derations. *Socio-Economic Planning Sciences*. 2019; 68:100620. DOI: 10.1016/j.seps.2018.02.007

4. Loosemore M., Alkilani S.Z., Murphy R. The institutional drivers of social procurement implementation in Australian construction projects. *International Journal of Project Management*. 2021; 39(7):750-761. DOI: 10.1016/j.ijproman.2021.07.002

5. Gallego J., Rivero G., Martínez J. Preventing rather than punishing: An early warning model of malfeasance in public procurement. *International Journal of Forecasting*. 2020; 37(1):360-377. DOI: 10.1016/j.ijforecast.2020.06.006

6. Khoso A.R., Yusof A.M., Chen Z-S., Skibniewski M.J., Chin K.S., Khahro S.H. et al. Comprehensive analysis of state-of-the-art contractor selection models in construction environment-A critical review and future call. *Socio-Economic Planning Sciences*. 2021; 79:101137. DOI: 10.1016/j.seps.2021.101137
7. Maréchal F., Morand P.H. Are social and environmental clauses a tool for favoritism? Analysis of French public procurement contracts. *European Journal of Political Economy*. 2021; 102140. DOI: 10.1016/j.ejpoleco.2021.102140
8. Li J., Kassem M. Applications of distributed ledger technology (DLT) and Blockchain-enabled smart contracts in construction. *Automation in Construction*. 2021; 132(1):103955. DOI: 10.1016/j.autcon.2021.103955
9. McNamara A., Sepasgozar S.M. Intelligent contract adoption in the construction industry: Concept development. *Automation in Construction*. 2021; 122:103452. DOI: 10.1016/j.autcon.2020.103452
10. Yevu S.K., Yu A.T.W., Darko A. Digitalization of construction supply chain and procurement in the built environment: Emerging technologies and opportunities for sustainable processes. *Journal of Cleaner Production*. 2021; 322(6):129093. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.129093
11. Owusu E.K., Chan A.P.C., Effah E.A. Toward a cleaner project procurement: Evaluation of construction projects' vulnerability to corruption in developing countries. *Journal of Cleaner Production*. 2019; 216:394-407. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.01.124
12. García Rodríguez M.J., Rodríguez Montequín V., Ortega-Fernández F., Ortega F., Balsera J.V. Spanish Public Procurement: legislation, open data source and extracting valuable information of procurement announcements. *Procedia Computer Science*. 2019; 164:441-448. DOI: 10.1016/j.procs.2019.12.204
13. Yuzvovich L.I., Isakova N.Yu., Istomina Yu.V. et al. *Public procurement system: theoretical and practical aspects. Monograph*. Ekaterinburg, Ural Federal University, 2019; 231. (rus.).
14. Kaufova F.B. Problems of the contract system of public procurement and ways to improve legislation. *Young Scientist*. 2017; 50(184):296-298. (rus.).
15. Beryozhentseva I.O., Berezin A.O. International experience of contract bidding in construction. *Young Scientist*. 2018; 48(234):370-372. (rus.).
16. Parfileva E.N., Nurullina A.I. Analysis of the contract system in the field of public procurement abroad. *Issues of Economics and Management*. 2018; 1(12):14-17. (rus.).
17. Semenova F.Z., Borlakova M.B., Botasheva L.S. Foreign experience of state procurement. *Fundamental Research*. 2016; 6-2:465-469. (rus.).
18. Zhigit A.A., Khamidullina K.I., Lashkin S.A. Comprehensive evaluation of electronic auction at the purchase of public services purchases (on the example of construction contract). *Russian Economic Bulletin*. 2020; 3(1):68-74. (rus.).
19. Kamaljan A.M. *Legal regulation of Public Procurement in European Union*. Moscow, 2018. (rus.).
20. Fedorova I.Yu., Pipiya Y.S. Organization of the public procurement system in japan and the possibilities of experience of their application in Russia. *MIR (Modernization. Innovation. Research)*. 2021; 12(1):34-55. DOI: 10.18184/2079-4665.2021.12.1.34-55 (rus.).
21. Anchishkina O.V. Russian Federation contract system: functioning peculiarities of state and municipal procurement and certain types of legal entities procurement. *Economic Theory, Analysis, Practice*. 2017; 4:53-88. (rus.).
22. Smotritskaya I.I. Contract procurement system in the context of Russian reforms. *Bulletin of the Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences*. 2019; 6:9-25. DOI: 10.24411/2073-6487-2019-10067 (rus.).

Received January 25, 2022.

Adopted in revised form on February 28, 2022.

Approved for publication on March 10, 2022.

BIONOTES: Alexander S. Pavlov — Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Construction of Thermal and Nuclear Power Facilities; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; Deputy Head of the Department of Expertise and Optimization of Design Solutions; **All-Russian Research Institute for Nuclear Power Plants Operation (VNIIAES)**; 25 Ferganskaya st., Moscow, 109507, Russian Federation; ID RISC: 79850, Scopus: 57212719485, ResearcherID: AAH-4585-2021, ORCID: 0000-0001-6638-5554; PavlovAS@mgsu.ru.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ НАУЧНОЙ СТАТЬИ

Текст статьи набирается в файлах в формате .docx.

СТРУКТУРА НАУЧНОЙ СТАТЬИ

Научная статья должна состоять из следующих структурных элементов: заголовок, список авторов, аннотация, ключевые слова, основной текст, сведения об авторах, список источников.

Заголовок, список авторов, аннотация, ключевые слова, список источников указываются последовательно на русском и английском языках.

Заголовок к статье должен соответствовать основному содержанию статьи. Заголовок статьи должен кратко (не более 10 слов) и точно отражать объект, цель и новизну, результаты проведенного научного исследования. Он должен быть информативным и отражать уникальность научного творчества автора.

Список авторов в краткой форме отражает всех авторов статьи и указывается в следующем формате:

Имя Отчество Фамилия¹, Имя Отчество Фамилия²

¹ Место работы первого автора; город, страна

² Место работы второго автора; город, страна

**если авторов не более четырех, то необходимо указывать полные ФИО, от пяти авторов и более – допустимо использовать инициал*

АННОТАЦИЯ

Основной принцип создания аннотации — информативность. Объем аннотации — от 200 до 250 слов.

Структура и содержание аннотации должны соответствовать структуре и содержанию основного текста статьи.

Аннотация к статье должна представлять краткую характеристику научной статьи. Задача аннотации — дать возможность читателю установить ее основное содержание, определить ее релевантность и решить, следует ли обращаться к полному тексту статьи.

Четкое структурирование аннотации позволяет не упустить основные элементы статьи. Структура аннотации аналогична структуре научной статьи и содержит следующие основные разделы:

- **Введение** — содержит описание предмета, целей и задач исследования, актуальность.
- **Материалы и методы** (или методология проведения работы) — описание использованных в исследовании информационных материалов, научных методов или методики проведения исследования
- **Результаты** — приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, обнаруженные взаимосвязи и закономерности. Предпочтение отдается новым результатам и выводам, которые, по мнению автора, имеют практическое значение.
- **Выводы** — четкое изложение выводов, которые могут сопровождаться рекомендациями, оценками, предложениями, описанными в статье.
- **Ключевые слова** — перечисляются через запятую, количество — от 7 до 10 слов.

Благодарности. Краткое выражение благодарности персонам и/или организациям, которые оказали помощь в выполнении исследования или высказывали критические замечания в адрес вашей статьи. Также в разделе указывается источники финансирования исследования от организаций и фондов организациям и фондам, т.е. за счет каких грантов, контрактов, стипендий удалось провести исследование. Раздел приводится при необходимости.

Аннотация не должна содержать:

- избыточных вводных фраз («Автор статьи рассматривает...», «В данной статье...» и т.д.);
- абстрактного указания на время написания статьи («В настоящее время...», «На данный момент...», «На сегодняшний день...» и т.д.);
- общего описания;
- цитат, таблиц, диаграмм, аббревиатур;
- ссылок на источники литературы;
- информацию, которой нет в статье.

Англоязычная аннотация пишется по тем же правилам. Отметим, что английская аннотация не обязательно должна быть точным переводом русской.

Следует обращать особое внимание на корректность употребления терминов. Избегайте употребления терминов, являющихся прямой калькой русскоязычных. Необходимо соблюдать единство терминологии в пределах аннотации.

Ключевые слова – прообраз статьи в поисковых системах, те точки, по которым читатель может найти вашу статью и определить предметную область текста. Чтобы определить основные ключевые слова для статьи, рекомендуется представить, по каким поисковым запросам читатели могут искать вашу статью. Как правило, ключевые слова также могут включать основную терминологию.

ОСНОВНОЙ ТЕКСТ

Основной текст научной статьи, представляемой в журнал, должен быть оформлен в соответствии со стандартом IMRaD и включать следующие разделы:

- Введение;
- Материалы и методы;
- Результаты исследования;
- Заключение и обсуждение.

РИСУНКИ И ТАБЛИЦЫ

Рисунки и таблицы следует вставлять в текст статьи сразу после того абзаца, в котором рисунок впервые упоминается. Рисунки и таблицы должны быть оригинальными (либо с указанием источника), хорошего качества (не менее 300 dpi). Оригиналы рисунков предоставляются в файлах формата .jpg, .tiff (название файла должны соответствовать порядковому номеру рисунка в тексте). Размер шрифта должен соответствовать размеру шрифта основного текста статьи. Линии обязательно не тоньше 0,25 пунктов.

Заголовки таблиц и рисунков выравниваются по левому краю. Заголовок таблицы располагается над ней, начинаясь с сокращения «Табл.» и порядкового номера таблицы, подпись к рисунку располагается под ним, начинаясь с сокращения «Рис.» и порядкового номера. Рисунки и таблицы позиционируются по центру страницы.

Подрисуночные подписи и названия таблиц размещаются на русском и английском языках, каждый на новой строке с выравниванием по левому краю.

Образец:

Рис. 1. Пример рисунка в статье

Figure 1. Example of article image

Табл. 1. Пример таблицы в статье

Table 1. Example of table for article

ФОРМУЛЫ

Формулы должны быть набраны в редакторе формул MathType версии 6 или выше.

Цифры, греческие, готические и кириллические буквы набираются прямым шрифтом; латинские буквы для обозначения различных физических величин (A , F , b и т.п.) — курсивом; наименования тригонометрических функций, сокращенные наименования математических понятий на латинице (max, div, log и т.п.) — прямым; векторы ($\mathbf{a}$, $\mathbf{b}$ и т.п.) — жирным курсивом; символы химических элементов на латинице (Cl, Mg) — прямым.

Запись формулы выполняется автором с использованием всех возможных способов упрощения и не должна содержать промежуточные преобразования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Список источников составляется в порядке упоминания в тексте. Порядковый номер источника в тексте (ссылка) заключается в квадратные скобки. Текст статьи должен содержать ссылки на все источники из списка источников. При наличии ссылки должны содержать идентификаторы DOI.

Список источников на русском языке оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.5–2008.

Список источников на английском языке (reference) оформляется в соответствии с международным стандартом цитирования Vancouver — последовательный численный стиль: ссылки нумеруются по ходу

их цитирования в тексте, таблицах и рисунках. ФИО авторов, название статьи на английском языке, наименование журнала, год выпуска; Том (выпуск): страницы.

Список источников и сведения об авторах указываются последовательно на русском и английском языках.

Нормативные документы (постановления, распоряжения, уставы), ГОСТы, справочная литература не указываются в списках источников, оформляются в виде сносок.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

В **Сведениях об авторах (Bionotes)** представляется основная информация об авторском коллективе в следующем формате.

Имя, Отчество, Фамилия (полностью) — ученая степень, ученое звание, должность, подразделение; **название организации** (обязательно приводить в полной и краткой официально установленной форме, в именительном падеже), в которой работает (учится) автор; почтовый адрес организации; адрес электронной почты; ORCID, ResearcherID и др. (при наличии).

Сведения об авторах представляются на русском и английском языках.

Сведения об авторах на английском языке даются в полном виде, без сокращений слов. Приводятся официально установленные англоязычные названия организаций и их подразделений. Опускаются элементы, характеризующие правовую форму учреждения (организации) в названиях вузов.

Автор должен придерживаться единообразного написания фамилии, имени, отчества во всех статьях. Эта информация для корректной индексации должна быть указана в других статьях, профилях автора в Международных базах данных Scopus/WoS и т.д.

СВЕДЕНИЯ О ВКЛАДЕ КАЖДОГО АВТОРА

Сведениям предшествуют слова «**Вклад авторов:**» (**Contribution of the authors:**). После фамилии и инициалов автора в краткой форме описывается его личный вклад в написание статьи (идея, сбор материала, обработка материала, написание статьи, научное редактирование текста и т.д.).

Сведения об отсутствии или наличии конфликта интересов и детализацию такого конфликта в случае его наличия указывают после всех данных о вкладе каждого автора.

КАК ПОДГОТОВИТЬ ОСНОВНОЙ ТЕКСТ СТАТЬИ, ЧТОБЫ ЕЕ ПРИНЯЛИ К ПУБЛИКАЦИИ?

ЗАГОЛОВОК

Заголовок статьи должен **кратко и точно** (не более 10 слов) отражать объект, цель и новизну, результаты проведенного научного исследования. В него необходимо как вложить информативность, так и отразить привлекательность, уникальность научного творчества автора.

ОСНОВНОЙ ТЕКСТ СТАТЬИ

Основной текст научной статьи, представляемой в журнал для рассмотрения вопроса о ее публикации, должен быть оформлен в соответствии со стандартом IMRaD и включать следующие разделы: введение (Introduction), материалы и методы (Materials and methods), результаты исследования (Result), заключение и обсуждение (Conclusion and discussion).

Введение (Introduction). Отражает то, какой проблеме посвящено исследование. Осуществляется постановка научной проблемы, ее актуальность, связь с важнейшими задачами, которые необходимо решить, значение для развития определенной отрасли науки или практической деятельности.

Во введении должна содержаться информация, которая позволит читателю понять и оценить результаты исследования, представленного в статье без дополнительного обращения к другим литературным источникам. Во введении автор осуществляет обзор проблемной области (литературный обзор), в рамках которой осуществлено исследование, обозначает проблемы, не решенные в предыдущих исследованиях, которые призвана решить данная статья. Кроме этого, в нем выражается главная идея публикации, которая существенно отличается от современных представлений о проблеме, дополняет или углубляет уже

известные подходы к ней; обращается внимание на введение в научное обращение новых фактов, выводов, рекомендаций, закономерностей. Цель статьи вытекает из постановки научной проблемы.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОСТАВЛЕНИЮ ЛИТЕРАТУРНОГО ОБЗОРА

В Список источников рекомендуется включать от 20 до 40 источников, не учитывая ссылки на нормативные документы, интернет-ресурсы (сайты сети Интернет, не являющиеся периодическими изданиями), отчеты, а также источники, отсутствующие в каталогах ведущих российских библиотек-депозитариев (ГПНТБ, РНБ, РГБ), архивах и т.п. Подобные источники приводят в сносках внизу страницы сверх минимально рекомендуемого порога.

Не рекомендуется ссылаться на интернет-ресурсы, не содержащие научную информацию, учебники, учебные и методические пособия. В числе источников должно быть не менее 10 иностранных источников (для статей на английском языке не менее трех российских). Не менее шести из иностранных и не менее шести из российских источников должны быть включены в один из ведущих индексов цитирования: Web of Science/Scopus или Ядро РИНЦ. Состав источников должен быть актуальным и содержать не менее восьми статей из научных журналов не старше 10 лет, из них четыре — не старше трех лет. В списке источников должно быть не более 10 % работ, автором либо соавтором которых является автор статьи.

Материалы и методы (Materials and methods). Отражает то, как изучалась проблема. Описываются процесс организации эксперимента, примененные методики, обосновывается их выбор. Детализация описания должна быть настолько подробной, чтобы любой компетентный специалист мог воспроизвести их, пользуясь лишь текстом статьи.

Результаты (Result). В разделе представляется систематизированный авторский аналитический и статистический материал. Результаты проведенного исследования необходимо описывать достаточно полно, чтобы читатель мог проследить его этапы и оценить обоснованность сделанных автором выводов. Это основной раздел, цель его — при помощи анализа, обобщения и разъяснения данных доказать рабочую гипотезу (гипотезы). Результаты при необходимости подтверждаются иллюстрациями (таблицами, графиками, рисунками), которые представляют исходный материал или доказательства в свернутом виде. Важно, чтобы проиллюстрированная информация не дублировала уже приведенную в тексте. Представленные в статье результаты сопоставляются с предыдущими работами в этой области как автора, так и других исследователей.

Заключение (Conclusion and discussion) содержит краткую формулировку результатов исследования. В нем в сжатом виде повторяются главные мысли основной части работы. Повторы излагаемого материала лучше оформлять новыми фразами, отличающимися от высказанных в основной части статьи. В этом разделе необходимо сопоставить полученные результаты с обозначенной в начале работы целью. В заключении суммируются результаты осмысления темы, делаются выводы, обобщения и рекомендации, вытекающие из работы, подчеркивается их практическая значимость, а также определяются основные направления для дальнейшего исследования в этой области. В заключительную часть статьи желательно включить 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, указы-

вают, что поставленные задачи авторами были решены. Приводятся обобщения и даются рекомендации, вытекающие из работы, подчеркивается их практическая значимость, а также определяются основные направления для дальнейшего исследования в этой области. В рамках обсуждения желательно раскрыть перспективы развития темы.

В данном разделе не приводят ссылки на источники.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ (REFERENCES)

Оформляется на русском и английском языках.

Расположение источников в списке – в строгом соответствии с порядком упоминания в тексте статьи.

Библиографическое описание документов (в том числе и электронных) на русском языке оформляется в соответствии с требованиями ГОСТа Р 7.0.5–2008.

Библиографическое описание документов (в том числе и электронных) на английском языке оформляется в стиле «Ванкувер».

Русскоязычные источники необходимо приводить в официальном варианте перевода (т.е. том, который размещен в самом издании; при наличии). Название города издания приводится полностью, в английском написании. Названия журналов и издательств приводятся либо официальные английские (если есть), либо транслитерированные. В конце описания источника в скобках указывается язык источника (rus.).

Для изданий следует указать фамилии авторов, журнал (электронный адрес), год издания, том (выпуск), номер, страницы, DOI или адрес доступа в сети Интернет. Интересующийся читатель должен иметь возможность найти указанный литературный источник в максимально сжатые сроки.

Если у статьи (издания) есть DOI, его обязательно указывают в библиографическом описании источника.

Важно правильно оформить ссылку на источник.

Пример оформления:

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Самарин О.Д. О расчете охлаждения наружных стен в аварийных режимах теплоснабжения // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2007. № 2. С. 46–50. URL: <http://izvuzstr.sibstrin.ru/uploads/publication/fulltext/2-2007.pdf> (дата обращения: 04.12.18).

2. Мусорина Т.А., Петриченко М.Р. Математическая модель тепломассопереноса в пористом теле // Строительство: наука и образование. 2018. Т. 8. № 3. С. 35–53. DOI: 10.22227/2305-5502.2018.3.3

REFERENCES

1. Samarin O.D. On calculation of external walls coling in emergency condition of heat supply. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Construction*. 2007; 2:46-50. URL: <http://izvuzstr.sibstrin.ru/uploads/publication/fulltext/2-2007.pdf> (Accessed 19th June 2015). (rus.).

2. Musorina T.A., Petrichenko M.R. Mathematical model of heat and mass transfer in porous body. *Construction: science and education*. 2018; 8(3):35-53. DOI: 10.22227/2305-5502.2018.3.3 (rus.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Оформляются на русском и английском языках.

Об авторах: **Имя, отчество, фамилия** (полностью) — ученая степень, ученое звание, должность, подразделение; **название организации** (обязательно приводить в полной и краткой официально установленной форме, в именительном падеже), в которой работает (учится) автор; почтовый адрес организации; адрес электронной почты;

Имя, отчество, фамилия (полностью) — ученая степень, ученое звание, должность, подразделение, **название организации** (обязательно приводить в полной и краткой официально установленной форме, в именительном падеже), в которой работает (учится) автор, почтовый адрес организации, адрес электронной почты.

Сведения об авторах на английском языке приводятся в полном виде, без сокращений слов. Приводятся официально установленные англоязычные названия организаций и их подразделений. Опускаются элементы, характеризующие правовую форму учреждения (организации) в названиях вузов.

Автор должен придерживаться единообразного написания фамилии, имени, отчества во всех статьях. Эта информация для корректной индексации должна быть указана в других статьях, профилях автора в

Международных базах данных Scopus / WoS и т.д.

Bionotes: **Имя, отчество, фамилия** (полностью) — ученая степень, ученое звание, должность, подразделение; **название организации** (обязательно приводить в полной и краткой официально установленной форме), в которой работает (учится) автор; почтовый адрес организации (в последовательности: офис, дом, улица, город, индекс, страна); адрес электронной почты;

Имя, отчество, фамилия (полностью) — ученая степень, ученое звание, должность, подразделение; **название организации** (обязательно приводить в полной и краткой официально установленной форме), в которой работает (учится) автор; почтовый адрес организации (в последовательности: офис, дом, улица, город, индекс, страна); адрес электронной почты.

ВНИМАНИЕ! Все названия, подписи и структурные элементы рисунков, графиков, схем, таблиц оформляются на русском и английском языках.

Вклад авторов:

Фамилия И.О. - описание личного вклада в написание статьи в краткой форме (идея, сбор материала, обработка материала, написание статьи, научное редактирование текста и т. д.).

Пример:

Артемяева С. С. – научное руководство; концепция исследования; развитие методологии; участие в разработке учебных программ и их реализации; написание исходного текста; итоговые выводы. Митрохин В. В. – участие в разработке учебных программ и их реализации; доработка текста; итоговые выводы.

После «Информации об авторах» приводят сведения об отсутствии или наличии конфликта интересов и детализацию такого конфликта в случае его наличия. Если в статье приводят данные о вкладе каждого автора, то сведения об отсутствии или наличии конфликта интересов указывают после них.

Пример:

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Извещение Кассир	Форма № ПД-4 УФК по г. Москве г. Москва (НИУ МГСУ, л/с 20736Х29560) КПП 771601001 (наименование получателя платежа) <table border="1" style="width: 100%;"> <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> в <u>ГУ Банка России по ЦФО</u> БИК <u>0 0 4 5 2 5 9 8 8</u> (наименование банка получателя платежа) КБК <u>0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 3 0</u> ОКТМО <u>4 5 3 6 5 0 0 0</u> Вестник МГСУ - 637.00 руб. х 6 экз. подписка на январь, февраль, март, апрель, май, июнь 2022 г. <table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 60%; text-align: center;">(наименование платежа)</td> <td style="width: 40%; text-align: center;">Вестник МГСУ (номер лицевого счета (код) плательщика)</td> </tr> </table> Ф.И.О. _____ плательщика _____ Адрес _____ плательщика _____ Сумма платы за Сумма платежа <u>3 822</u> руб. <u>00</u> коп. услуги _____ руб. _____ коп. Итого _____ руб. _____ коп. « _____ » _____ 20 _____ г. С условиями приема указанной в платежном документе суммы, в т.ч. с суммой взимаемой платы за услуги банка, ознакомлен и согласен. Подпись плательщика _____	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)	(наименование платежа)	Вестник МГСУ (номер лицевого счета (код) плательщика)
	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)						
(наименование платежа)	Вестник МГСУ (номер лицевого счета (код) плательщика)						
Квитанция Кассир	Форма № ПД-4 УФК по г. Москве г. Москва (НИУ МГСУ, л/с 20736Х29560) КПП 771601001 (наименование получателя платежа) <table border="1" style="width: 100%;"> <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> в <u>ГУ Банка России по ЦФО</u> БИК <u>0 0 4 5 2 5 9 8 8</u> (наименование банка получателя платежа) КБК <u>0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 3 0</u> ОКТМО <u>4 5 3 6 5 0 0 0</u> Вестник МГСУ - 637.00 руб. х 6 экз. подписка на январь, февраль, март, апрель, май, июнь 2022 г. <table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 60%; text-align: center;">(наименование платежа)</td> <td style="width: 40%; text-align: center;">Вестник МГСУ (номер лицевого счета (код) плательщика)</td> </tr> </table> Ф.И.О. _____ плательщика _____ Адрес _____ плательщика _____ Сумма платы за Сумма платежа <u>3 822</u> руб. <u>00</u> коп. услуги _____ руб. _____ коп. Итого _____ руб. _____ коп. « _____ » _____ 20 _____ г. С условиями приема указанной в платежном документе суммы, в т.ч. с суммой взимаемой платы за услуги банка, ознакомлен и согласен. Подпись плательщика _____	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)	(наименование платежа)	Вестник МГСУ (номер лицевого счета (код) плательщика)
	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)						
(наименование платежа)	Вестник МГСУ (номер лицевого счета (код) плательщика)						

Бланк для оплаты полугодовой подписки через редакцию (оплата в банке).

ВНИМАНИЕ!

Если вы оплатили подписку по форме ПД-4 в банке, то для своевременной отправки вам номеров журнала безотлагательно пришлите копию платежного документа и сообщите ваш адрес с почтовым индексом, Ф.И.О. на e-mail: podpiska@mgsu.ru.

Подписчики — работники НИУ МГСУ могут заполнить бланк на свое имя и обратиться в отдел распространения и развития Издательства МИСИ — МГСУ для оформления подписки.

Телефон: (495)287-49-14 (вн. 22-47), podpiska@mgsu.ru.

Подробную информацию о вариантах подписки на «Вестник МГСУ» для физических и юридических лиц смотрите на сайте журнала <http://vestnikmgsu.ru/>



